高等学校理工科参考丛书

·曹忠良 王珍云编·

无机化学反应方程式手册

高等学校理工科参考丛书

曹忠良　王珍云编

无机化学反应方程式手册

湖南科学技术出版社

内 容 简 介

本书收编了无机化学及分析化学方面的重要化学反应方程式八千余个。按元素周期表中元素的自然分类规律，将各族元素的单质和化合物的重要化学反应方程式，有规律地编排成册，便于查阅。

这是一本基本的化学工具书，资料新颖，内容全面，编排合理。可供从事化学及有关工作的同志，包括大专院校师生、中学化学教师、化学研究人员、各行业化验室工作人员、化工厂技术人员等查阅。

无机化学反应方程式手册

曹忠良　王珍云　编

责任编辑：罗盛祖

*

湖南科学技术出版社出版

（长沙市展览馆路14号）

湖南省新华书店发行　湖南省新华印刷二厂印刷

*

1982年6月第1版　1985年9月第8次印刷

开本：787×1092毫米 1/32　印张：16.25　插页：5　字数：359,000

印数：32,701——45,300

统一书号：13204·56　　定价：3.20元

编 者 的 话

化学反应方程式是最集中、最简明表示化学变化内容的一种形式，是化学工作者一种特殊的语言。为了满足广大的化学工作者从事科研、教学和生产的需要，编者广泛地收集和整理了具有实用价值的无机化学反应方程式八千余个汇编成册，以供查阅。

一、本手册是按元素周期表中元素的自然分类规律编排的。根据同族元素具有相似的化学性质这一特点，我们对每族元素中具有代表性的一、二个元素的各类化学反应方程式收集较全面，而对其它元素只选择一些特征性的反应方程式。这样就能使本手册既具有较强的实用性，又不至于篇幅过大。

二、本手册共分十六章，编排顺序是：先非金属，后金属；先单质，后化合物。化合物又依照氢化物、氧化物、碱、酸、盐等顺序排列。

三、对于卤化物、硫酸盐、硝酸盐、磷酸盐、碳酸盐等，因种类繁多，涉及面广，如果将有关化学反应式集中放在卤素、硫、氮、磷、碳等章节中，这些部分便会显得过于拥挤，因此，我们将这些反应方程式适当分散在其它各有关章节中。

四、读者在查找某一化学反应方程式时，只要知道反应物分子中的主要元素是属于哪一类，就可在有关章节中找到。例如要查

$$FeSO_4 + KMnO_4 + H_2SO_4 \longrightarrow ?$$

就可在十三章“铁”元素的化合物〔$FeSO_4$〕一栏中找到。

五、反应条件的简要说明，附在反应方程式的“══”上下方。文字说明较多的，附在反应方程式的下面（　）内。反应物为气体或固体的化学反应方程式，在其分子式的后面标上（气）（固）字。但常温常压下，人们一般熟知的气态物质如CO_2、SO_2、H_2S、N_2、Cl_2、O_2……则不加标示。生成物中的“固体”或“气体”用“↓”或“↑”来表示。一些不大常见的化合物的名称，注明在其化学式的下面（　）内。

六、由于篇幅所限，本手册以收集氧化-还原反应方程式为主。常见的反应方程式省略了一部分。文字叙述仅作关键性的说明，力求简明扼要。

我们在编写本手册过程中，曾得到湖南师范学院刘明清、张惠元二位副教授的具体指导，还得到肖仰云、潘正卿、黄忠道等同志的帮助。初稿完成后，经湖南教育学院李朝略同志逐条审阅、修改、增删定稿。在此表示衷心的感谢！

编　者　1981年12月

目　　录

附录

第一章 卤 素

1.1 氟 $2s^2 2p^5$ F=18.9984

【F_2】

$$F_2 + H_2 = 2HF\uparrow + 128\text{千卡}$$

（在冷暗情况下也能发生剧烈反应）

$$F_{2(\text{干})} + Xe \xlongequal{\text{光}} XeF_2 + 65\text{千卡}$$

$$2F_2 + Xe \xlongequal{\text{放电}} XeF_4$$

$$3F_2 + Xe \xlongequal[300℃]{400\text{大气压}} XeF_6$$

$$F_2 + 2S = S_2F_2$$

$$2F_2 + S = SF_4$$

$$SF_4 + 2ClF = SF_6 + Cl_2$$ （或生成SF_5Cl）

$$3F_2 + S = SF_6$$

$$3F_2\text{（适量）} + 2P = 2PF_3$$

$$PF_3 + F_2\text{（过量）} = PF_5$$

$$nF_2 + 2M = 2MF_n$$

（M表示大多数金属，$n=1, 2, 3, \cdots$）

$$2F_2 + 2H_2O = 4HF + O_2\uparrow$$

（反应剧烈，甚至还可产生O_3。在极低温下20°K，F_2与H_2O作用能生成HFO，但HFO很不稳定，易分解放出O_2）

$$F_2 + SO_2 = SO_2F_2$$

（F_2在SO_2中燃烧的反应）

$$2F_2 + 2NaOH \xlongequal{\triangle} 2NaF + H_2O + OF_2\uparrow$$

$F_2 + 2NaBr = 2NaF + Br_2$

$F_2 + 2Fe^{2+} = 2Fe^{3+} + 2F^-$

【HF】　$4HF + SiO_2$（固）$= SiF_4\uparrow + 2H_2O$

$HF + NaOH = NaF + H_2O$

$2HF$（液体）$+ H_2SO_4$（浓）$\rightleftharpoons H_3O^+ + HSO_3F + F^-$

$6HF + CaSiO_3$（固）$= CaF_2 + SiF_4\uparrow + 3H_2O$

HF（液）$+ C_6H_{12}O_6 \rightleftharpoons [C_6H_{12}O_6\cdot H]^+ + F^-$

【F_2O】　$2F_2O$（干气）$\xlongequal{\text{热或强光}} O_2\uparrow + 2F_2\uparrow$

$F_2O + H_2O$（气）$= O_2\uparrow + 2HF\uparrow + 74.8$千卡

【SF_4】　$SF_4 + 3H_2O = H_2SO_3 + 4HF\uparrow$

1.2　氯　$3s^2 3p^5$　$Cl = 35.453$

【Cl_2】　$Cl_2 + H_2 \xlongequal{\text{燃烧}} 2HCl + 4412$千卡

$Cl_2 + H_2 \xlongequal{\text{光}} 2HCl +$ 热

（爆炸性的反应）

$Cl_2 + F_2 \xlongequal{200℃} 2ClF$

$ClF + F_2 \xlongequal{\triangle} ClF_3 + 64$千卡

$3Cl_2 + I_2 \xlongequal{\text{强光}} 2ICl_3$

$5Cl_2$（过量）$+ 2P \xlongequal{\text{燃烧}} 2PCl_5$

$3Cl_2 + 2P$（过量）$\xlongequal{\text{燃烧}} 2PCl_3$

PCl_3（固）$+ 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl\uparrow$

$$nCl_2 + 2M = 2MCl_n$$

（M表示大多数金属，$n=1, 2, 3, \cdots$）

$$Cl_2 + 2Na \xlongequal{燃烧} 2NaCl$$

$$Cl_2 + Cu \xlongequal{燃烧} CuCl_2$$

$$Cl_2 + H_2O_{(冷)} \rightleftharpoons HClO + HCl$$

（HClO易分解放出O_2，$2HClO = 2HCl + O_2$）

$$2Cl_2 + 2H_2O \xlongequal{日光} 4HCl + O_2\uparrow \quad (反应很快)$$

$$3Cl_2 + 3H_2O_{(热)} = 5HCl + HClO_3$$

$$Cl_2 + H_2O_2 = 2HCl + O_2\uparrow$$

$$2Cl_2 + 2H_2O_{(气)} + C_{(红热)} = 4HCl + CO_2 + 69千卡$$

$$2Cl_2 + 2HgO_{(新沉淀)} = ClHgOHgCl + Cl_2O\uparrow$$

$$Cl_2 + 2KOH_{(冷稀)} \xlongequal{55℃} KClO + KCl + H_2O$$

$$3Cl_2 + 6KOH_{(浓、热)} = KClO_3 + 5KCl + 3H_2O$$

（制取$KClO_3$的反应）

$$2Cl_2 + 2Ca(OH)_2 \xlongequal{40℃} CaCl_2 + Ca(ClO)_2 + 2H_2O$$

$$3Ca(ClO)_2 \xlongequal{70℃} 2CaCl_2 + Ca(ClO_3)_2$$

$$2Cl_2 + 3Ca(OH)_2 = Ca(ClO)_2 + CaCl_2 \cdot Ca(OH)_2 \cdot H_2O + H_2O \quad (制漂白粉)$$

$$Ca(ClO)_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2HClO$$

$$\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad \llcorner\!\!\rightarrow 2HCl + 2[O]$$

（漂白粉的漂白原理）

$$6Cl_{2\,(过量)} + 6Ca(OH)_2 \xlongequal{70℃} Ca(ClO_3)_2 + 5CaCl_2 + 6H_2O$$

$$Cl_2 + H_2S_{(溶液)} = 2HCl + S\downarrow \quad (Br_2, I_2亦可)$$

$$Cl_2 + H_2SO_3 + H_2O = H_2SO_4 + 2HCl$$

$$Cl_2 + 2NaBr = 2NaCl + Br_2$$

$$Cl_2 + 2KI = 2KCl + I_2$$

$$Cl_2 + Na_2S = 2NaCl + S$$

$$Cl_2 + Na_2SO_3 + H_2O = 2HCl + Na_2SO_4$$

$$Cl_{2}\text{（过量）} + PCl_3 = PCl_5$$ （I_2不能起此反应）

$$2Cl_2 + 2ClF_3 = 3(ClF)_2$$

$$Cl_2 + CH_4 \xrightarrow{\text{光}} CH_3Cl + HCl\uparrow$$

$$Cl_2 + C_2H_4 \longrightarrow ClCH_2CH_2Cl$$

$$3Cl_2 + C_6H_6 \xrightarrow{\text{紫外线}} C_6H_6Cl_6$$

$$4Cl_2 + C_2H_5OH \longrightarrow \underset{\text{（α-三氯乙醛）}}{CCl_3CHO} + 5HCl$$

$$8Cl_2 + \underset{\text{（松节油）}}{C_{10}H_{16}}\text{（热）} \longrightarrow 16HCl + 10C$$

【HCl】　HCl（气）——氯化氢

HCl——盐酸

$$4HCl\text{（气）} + O_2 \xrightarrow[450℃]{CuCl_2\text{催化}} 2Cl_2\uparrow + 2H_2O + 27\text{千卡}$$

$$4HCl\text{（浓）} + MnO_2\text{（粉）} \overset{\triangle}{=} MnCl_2 + 2H_2O + Cl_2\uparrow$$

$$10HCl + 2HNO_3 = 5Cl_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O$$

$$3HCl + HNO_3\text{（浓）} = NOCl + 2H_2O + Cl_2\uparrow$$

$$16HCl\text{（浓）} + 2KMnO_4\text{（固）} \overset{\triangle}{=} 2MnCl_2 + 2KCl + 5Cl_2\uparrow + 8H_2O$$

$$14HCl\text{（浓）} + K_2Cr_2O_7\text{（固）} \overset{\triangle}{=} 2CrCl_3 + 2KCl + 3Cl_2\uparrow + 7H_2O$$

【Cl_2O】　$Cl_2O + H_2O = 2HClO$

$$3Cl_2O + CS_2 = COCl_2 + 2SOCl_2$$
（光气）

【ClO_2】 $$2ClO_2 + H_2O = HClO_2 + HClO_3$$
（亚氯酸）

$$ClO_2 + 2H_2O_2 = ClO_2^- + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2ClO_2 + Na_2O_2 = 2NaClO_2 + O_2\uparrow$$

$$2ClO_2 + BaO_2 = Ba(ClO_2)_2 + O_2\uparrow$$

$$Ba(ClO_2)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2HClO_2$$

$$2ClO_2 + 2NaOH = NaClO_3 + NaClO_2 + H_2O$$

$$2ClO_2 + 2NaOH + Zn = 2NaClO_2 + Zn(OH)_2\downarrow$$

$$2ClO_2 + 2NaCl \xlongequal{电解} 2NaClO_2 + Cl_2\uparrow$$

【Cl_2O_6】 $$Cl_2O_6 \rightleftharpoons 2ClO_3$$

$$Cl_2O_6 + H_2O = HClO_4 + HClO_3$$

$$Cl_2O_6 + 2NaOH = NaClO_4 + NaClO_3 + H_2O$$

【ClO_4】 $$2ClO_4 + Mg = Mg(ClO_4)_2$$
（Zn和Cu亦可发生类似反应）

【HClO】 $$2HClO \xlongequal{光} 2HCl + O_2\uparrow$$

$$3HClO \xlongequal{\triangle} 2HCl + HClO_3$$

$$2HClO \xlongequal{加H_2SO_4(浓)} 2HCl + O_2\uparrow$$

$$2HClO \xlongequal[加热蒸发]{加脱水剂} Cl_2O + H_2O$$

$$2HClO + 2Hg = (HgCl)_2O\downarrow + H_2O$$

$$HClO + H_2O_2 = HCl + O_2\uparrow + H_2O$$

$$HClO + HCl = Cl_2\uparrow + H_2O$$

$$6HClO + NaCl = NaClO_3 + 3Cl_2\uparrow + 3H_2O$$

【$HClO_2$】 $$8HClO_2 \xlongequal{分解} 6ClO_2 + Cl_2\uparrow + 4H_2O$$

【$HClO_3$】 $26HClO_3 \xlongequal{40℃} 10HClO_4 + 8Cl_2\uparrow + 15O_2\uparrow + 8H_2O$

$3HClO_3 \xlongequal{\triangle} HClO_4 + Cl_2\uparrow + 2O_2\uparrow + H_2O$

$2HClO_3 + H_2O_2 \xlongequal{20—60℃} 2ClO_2 + O_2\uparrow + 2H_2O$

$2HClO_3 + 2HCl \xlongequal{\triangle} 2ClO_2 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$

$HClO_3 + HI \xlongequal{} HIO_3 + HCl$

$4HClO_3 + 3H_2S \xlongequal{} 3H_2SO_4 + 4HCl$

$2HClO_3 + 2C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O \xlongequal{} 2HClO_2 + 4CO_2 + 6H_2O$

【$HClO_4$】 $2HClO_4 \xlongequal{} H_2O_2 + Cl_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

$4HClO_4 \xlongequal{} 4ClO_2 + 3O_2\uparrow + 2H_2O$

$2ClO_2 \xlongequal{} Cl_2\uparrow + 2O_2\uparrow$

$4HClO_4(70—85\%) \xlongequal{\triangle} 2Cl_2\uparrow + 7O_2\uparrow + 2H_2O$

(92℃以上发生爆炸性反应)

$2HClO_4 + Br_{2(气)} \xlongequal{} 2HBrO_4 + Cl_2\uparrow$

$2HClO_4 + I_2 + 4H_2O \xlongequal{\triangle} 2HIO_4 \cdot 2H_2O + Cl_2\uparrow$

$2HClO_4 + MgO \xlongequal{} Mg(ClO_4)_2 + H_2O$

$HClO_4 + 7HCl \xlongequal{} 4Cl_2\uparrow + 4H_2O$

$HClO_4 \cdot 2H_2O + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} HClO_4 \cdot H_2O + H_2SO_4 \cdot H_2O$

$HClO_4 + KCl \xlongequal{} KClO_4\downarrow + HCl$

$HClO_4 + NH_4Cl \xlongequal{} NH_4ClO_4\downarrow$(白色)$+ HCl$

$2HClO_4 + 2CrCl_2 + 2HCl \xlongequal{} H_2Cr_2O_7 + 4Cl_2\uparrow + H_2O$

$2HClO_4 + K_2SO_4 \xlongequal{\triangle} 2KClO_4\downarrow + H_2SO_4$

$HClO_4 + KNO_3 = KClO_4 \downarrow$（白色）$+ HNO_3$

$2HClO_4 + MgCO_3 = Mg(ClO_4)_2 + CO_2 \uparrow + H_2O$

$$HClO_4 + CH_3COOH\,(100\%) = \left[CH_3-\overset{\overset{\displaystyle OH}{|}}{C}-OH\right]^+ + ClO_4^-$$

1.3 溴 $4s^2 4p^5$ Br = 79.904

【Br_2】 $Br_2 + H_2 \xlongequal{\triangle} 2HBr$

$Br_2 + Cl_2 \rightleftharpoons 2BrCl +$ 热

$Br_2 + Cl_2 + 2H_2O = 2HBrO + 2HCl$

$Br_2 + 5Cl_2 + 6H_2O = 2HBrO_3 + 10HCl$

$Br_2 + 2S$（固）$\xlongequal[\text{封闭管内进行}]{\triangle} S_2Br_2$（还可生成$SBr_2$）

$3Br_2 + 2P \xlongequal{\text{燃烧}} 2PBr_3$

$3Br_2 + 2P + 6H_2O \xlongequal{\text{共煮}} 2H_3PO_3 + 6HBr$

$Br_2 + 2Na = 2NaBr$

$Br_2 + Mg \xlongequal{\triangle} MgBr_2$

$Br_2 + H_2O \underset{}{\overset{\text{高温}}{\rightleftharpoons}} HBrO + HBr$

$3Br_2 + 3H_2O = HBrO_3 + 5HBr$

$Br_2 + H_2O_2 = 2HBr + O_2 \uparrow$

$2Br_2$（蒸气）$+ HgO \xlongequal{50-100℃} HgBr_2 + Br_2O$（深棕色）

$3Br_2 + 6KOH = KBrO_3 + 5KBr + 3H_2O$

$Br_2 + HCl = HClBr_2$

$Br_2 + H_2S = 2HBr + S$

$4Br_2 + H_2S + 4H_2O = H_2SO_4 + 8HBr$

$Br_2 + 5HOCl + H_2O = 2HBrO_3 + 5HCl$

$Br_2 + H_2SO_3 + H_2O = H_2SO_4 + 2HBr$

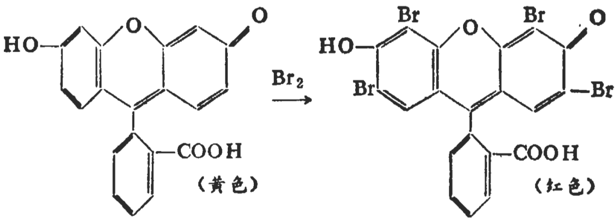
$Br_2 + 2NaI = 2NaBr + I_2$

$Br_2 + 2KI + 2HCl = 2KCl + 2HBr + I_2$

$Br_2 + NH_4Br = NH_4Br_3$

$3Br_2 + 3Na_2CO_3 = NaBrO_3 + 5NaBr + 3CO_2\uparrow$

（制取$NaBrO_3$的反应方程式）



（荧光素）　　（四溴荧光素）

【HBr】 $2HBr + Cl_2 = 2HCl + Br_2$

$HBr + Br_2 = HBr_3$

$4HBr(气) + O_2 \xrightarrow[450℃]{CuCl_2催化} 2Br_2 + 2H_2O$

$2HBr(溶液) + Zn = ZnBr_2 + H_2\uparrow$

$2HBr + H_2O_2 = Br_2 + 2H_2O$

$4HBr(液) + MnO_2 = MnBr_2 + Br_2\uparrow + 2H_2O$

$2HBr(气) + H_2SO_4(浓) \xrightarrow{\triangle} SO_2\uparrow + Br_2\uparrow + 2H_2O$

【Br_2O】 $Br_2O + 2NaOH = 2NaBrO + H_2O$

$3Br_2O + 6NaOH = 2NaBrO_3 + 4NaBr + 3H_2O$

【HBrO】 $5HBrO(稀溶液) = HBrO_3 + 2Br_2 + 2H_2O$

$4HBrO = 2Br_2 + O_2\uparrow + 2H_2O$

$2HBrO = 2H^+ + 2Br^- + O_2\uparrow$

$2HBrO = HBrO_2 + HBr$

（HBrO转化为$HBrO_3$时的中间过程）

$HBrO + H_2O_2 = HBr + O_2\uparrow + H_2O$

$HBrO + HBr = Br_2 + H_2O$

（HBrO溶液内自动发生的中间过程）

$3BrO^- = BrO_3^- + 2Br^-$ （歧化反应）

【$HBrO_3$】 $4HBrO_3 \xlongequal{H_2SO_4(浓)} 2Br_2 + 5O_2\uparrow + 2H_2O$

$BrO_3^- + F_2 + 2OH^- = BrO_4^- + 2F^- + H_2O$

$HBrO_3 + KOH = KBrO_3 + H_2O$

$HBrO_3 + 5HBr = 3Br_2 + 3H_2O$

$HBrO_3 + HSCN + H_2O = H_2SO_4 + HCN + HBr$

$HBrO_3 + 6MnSO_4$ (饱和) $+ 3H_2SO_4 =$

$3Mn_2(SO_4)_3 + HBr + 3H_2O$

$2HBrO_3 + 5HCOOH = Br_2 + 5CO_2\uparrow + 6H_2O$

1.4 碘 $5s^25p^5$ $I = 126.9045$

【I_2】 $I_2 + H_2 \xlongequal{\triangle} 2HI$

$I_2 + 5Cl_2$ (过量) $+ 6H_2O \rightleftharpoons 2HIO_3 + 10HCl$

$I_2 + Cl_2 + 2Cl^- \rightleftharpoons 2ICl_2^-$

$3I_2 + 2P \xlongequal{\triangle} 2PI_3$

$3I_2 + 2P + 6H_2O = 2H_3PO_3 + 6HI\uparrow$

$I_2 + 2Na \xlongequal{\triangle} 2NaI$

$$2I_2 + 2H_2O \xrightarrow[\triangle]{在日光下} 4HI + O_2\uparrow$$

$$I_2(醇溶液) + H_2O \rightleftharpoons HOI + HI$$

$$I_2 + 5H_2O_2 = 2HIO_3 + 4H_2O$$

$$I_2 + H_2O_2 + 2NaHCO_3 = 2NaI + 2CO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$I_2 + H_2O + SO_2 + CH_3OH = \underset{(甲基硫酸)}{HSO_4CH_3} + 2HI$$

$$3I_2 + 3Na_2O_2 = 2NaIO_3 + 4NaI$$

（反应物在混合时必须冷却）

$$6I_2 + 6HgO = Hg(IO_3)_2 + 5HgI_2$$

$$I_2 + 2NaOH(过量) \xrightarrow{55℃} NaI + NaOI + H_2O$$

$$I_2 + 2KOH = 2KIO + H_2\uparrow$$

$$3KIO = 2KI + KIO_3$$

$$3I_2 + 6KOH \xrightarrow{\triangle} KIO_3 + 5KI + 3H_2O$$

$$I_2 + 2NH_4OH = NH_4I + NH_4OI + H_2O$$

$$3NH_4OI = NH_3NI_3 + NH_3\uparrow + 3H_2O$$

$$3I_2 + 5NH_3(浓液) = 3NH_4I + NI_3\cdot NH_3\downarrow(暗褐)$$

$$2NI_3\cdot NH_3 = 2NH_3 + 3I_2 + N_2$$

$$NI_3\cdot NH_3 + 5HCl(浓) = 3ICl + 2NH_4Cl$$

$$2I_2 + 2NH_2OH \xrightarrow[中性溶液]{在Na_2HPO_4存在下} N_2O + 4HI + H_2O$$

$$2I_2 + NH_2OH + H_2O = HNO_2 + 4HI$$

$$I_2(液) + H_2S(气) = 2HI + S\downarrow + 17.5千卡$$

（反应在酸性溶液中进行。将I_2悬浮于水内通入H_2S）

$$I_2 + 5HClO + H_2O \rightleftharpoons 2HIO_3 + 5HCl$$

$$I_2 + 2HClO_3 = 2HIO_3 + Cl_2\uparrow$$

$$I_2 + H_2SO_3 + H_2O = H_2SO_4 + 2HI$$

$$3I_2+10HNO_3 = 6HIO_3+10NO\uparrow+2H_2O$$

$$I_2+7HNO_3+H_2O = 2HIO_4+7HNO_2$$

$$I_2+10HNO_3(浓) = 2HIO_3+10NO_2\uparrow+4H_2O$$

$$I_2+H_3PO_2+H_2O = H_3PO_3+2HI$$

$$I_2+H_3PO_3+H_2O \xlongequal{在NaHCO_3存在下} H_3PO_4+2HI$$

$$I_2+KI = KI_3（深红棕色）$$

$$I_2+KI+H_2O = KI_3\cdot H_2O$$

$$I_2+KI+2H_2O = KI_3\cdot 2H_2O$$

$$3I_2+KI+H_2O = KI_7\cdot H_2O$$

$$2I_2+2KCN = 2ICN+2KI$$

$$2I_2+Hg(CN)_2（过量） = 2ICN+HgI_2$$

（先将I_2溶于醚中，再与过量的$Hg(CN)_2$反应）

$$I_2+2KClO_3 = 2KIO_3+Cl_2\uparrow$$

$$6I_2（溶液）+6Hg(ClO_4)_2+6H_2O = Hg(IO_3)_2+5HgI_2+12HClO_4$$

$$I_2+Na_2HPO_4+H_2O = NaH_2PO_4+NaI+HOI$$

$$5HOI = HIO_3+2I_2+2H_2O$$

$$I_2+K_2C_2O_4 \xlongequal{光} 2KI+2CO_2\uparrow$$

$$I_2（气）+CH_3CHO = CH_3I+HI+CO\uparrow$$

$$CH_3I+HI = CH_4+I_2$$

$$I_2+C_6H_{12}O_6+2NaOH = C_6H_{12}O_7+2NaI+H_2O$$

（葡萄糖）　　　　（葡萄糖酸）

$$I_2+C_6H_8O_6 = C_6H_6O_6+2HI$$

（抗坏血酸）

$$5I_2+2C_{13}H_{20}O_2N_2\cdot HCl+2KI = 2C_{13}H_{20}O_2N_2\cdot HI\cdot I_5\downarrow+2KCl$$

（盐酸普鲁卡因）

【HI】 $HI + 2Cl_2 = HCl + ICl_3$

$2HI + Br_2 = 2HBr + I_2$

$4HI + O_2$（空气）$\xlongequal{常温} 2I_2 + 2H_2O$

$2HI$（气）$+ S$（气）$= I_2 + H_2S\uparrow + 5$千卡

$2HI + H_2O_2$（过量）$\xlongequal{酸性中} I_2 + 2H_2O$

$I_2 + H_2O_2 = 2HI + O_2\uparrow$

$I_2 + 5H_2O_2 = 2HIO_3 + 4H_2O$

$2HI + Fe_2O_3 = 2FeO + I_2 + H_2O$

$2HI$（溶液）$+ MnO_2 = MnO + I_2 + H_2O$

$6HI + HBrO_3 = HBr + 3I_2 + 3H_2O$

$2HI + H_2SO_4$（过量）$\xlongequal{\triangle} H_2SO_3 + I_2 + H_2O$

$6HI + H_2SO_4$（较浓）$= 3I_2 + S + 4H_2O$

$8HI$（过量）$+ H_2SO_4$（浓）$= H_2S\uparrow + 4I_2 + 4H_2O$

$2HI + 2HNO_2 = I_2 + 2NO\uparrow + 2H_2O$

【I_2O_4】 $3I_2O_4$（黄色晶体）$+ 6KOH = 5KIO_3 + KI + 3H_2O$

【I_2O_5】 $I_2O_5 + 5CO = 5CO_2\uparrow + I_2$

【HIO】 $5HIO = HIO_3 + 2I_2 + 2H_2O$

$HIO + HCl = ICl + H_2O$

【HIO_3】 $2HIO_3 \xlongequal{\triangle} I_2O_5 + H_2O$

（I_2O_5为白色粉末，加热至300℃以上分解为I_2和O_2）

$2HIO_3 + 5H_2O_2 = I_2 + 5O_2\uparrow + 6H_2O$

$2HIO_3 + 5CO = I_2 + 5CO_2\uparrow + H_2O$

$HIO_3 + 5HCl$（浓）$= ICl_3 + Cl_2\uparrow + 3H_2O$

$2HIO_3 + 10HCl \xlongequal{蒸发} I_2 + 5Cl_2\uparrow + 6H_2O$

$HIO_3 + 5HI = 3I_2 + 3H_2O$

$HIO_3 + 2HI + 3HCl = 3ICl + 3H_2O$

$2HIO_3 + 5H_2S = 5S + I_2 + 6H_2O$

$HIO_3 + 3H_2SO_3 = 3H_2SO_4 + HI$

$2HIO_3 + 5H_2C_2O_4 = I_2 + 10CO_2\uparrow + 6H_2O$

$6HIO_3 + 5NaI = 5NaIO_3 + 3H_2O + 3I_2$

$6HIO_{3(过量)} + 6Na_2S_2O_3 = 3Na_2S_4O_6 + 5NaIO_3 + NaI + 3H_2O$

$6HIO_3 + 5Na_2S_2O_4 + 2H_2O = 10NaHSO_4 + 3I_2$

$4HIO_3 + 5N_2H_4 \cdot H_2SO_4 = 5N_2 + 5H_2SO_4 + 2I_2 + 12H_2O$

（硫酸肼）

$2I_2 + N_2H_4 = 4HI + N_2\uparrow$

【IO_3^-】 $4IO_3^- + P_4 + 4H_2O = 4H_2PO_4^- + 2I_2$

$2IO_3^- + 5H_2S + 2H^+ = I_2 + 5S + 6H_2O$

$IO_3^- + 3H_2S_{(过量)} = I^- + 3S + 3H_2O$

$IO_3^- + 3H_3PO_2 = 3H_3PO_3 + I^-$

$IO_3^- + 5I^- + 6H^+ = 3I_2 + 3H_2O$

$I_2 + H_3PO_3 + H_2O = H_3PO_4 + 2HI$

$6IO_3^- + 5CNS^- + 6H^+ + 2H_2O = 5HCN + 5HSO_4^- + 3I_2$

$2IO_3^- + 5SO_3^{2-} + 2H^+ = 5SO_4^{2-} + I_2 + H_2O$

（若SO_3^{2-}过量时，则无I_2，因为，

$SO_3^{2-} + I_2 + H_2O = 2H^+ + 2I^- + SO_4^{2-}$）

$IO_3^- + 3SO_3^{2-}{}_{(过量)} = 3SO_4^{2-} + I^-$

$IO_3 + Ag^+ = AgIO_3\downarrow$

（$AgIO_3$沉淀难溶于稀HNO_3，易溶解于NH_4OH）

$AgIO_3 + 2NH_4OH = [Ag(NH_3)_2]^+ + IO_3^- + 2H_2O$

1.5 砹 $6s^26p^5$ At=210

有关砹的研究目前甚少，因为砹极不稳定，在自然界中砹可能作为核衰变系中的一个短寿命中间体而存在，故来源极稀少，无法对它进行研究。一九四二年，人们用高速α粒子轰击铋，第一次制得砹。

$$^{209}_{83}Bi + ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{211}_{85}At + 2\,^{1}_{0}n$$

1.6 氰和氰化物

【$(CN)_2$】 $(CN)_2 + 2O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} 2CO_2\uparrow + N_2\uparrow + 260$千卡

$$(CN)_2 + H_2O \rightleftharpoons HCN + HOCN$$

$$(CN)_2 + 4H_2O \rightleftharpoons HOOC—COOH + 2NH_3$$

$$(CN)_2 + 4H_2O \xrightarrow{\text{碱性}} (NH_4)_2C_2O_4$$

$$(CN)_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{浓}HCl} (CONH_2)_2$$

（二乙酰胺）

$$(CN)_2 + 2KOH \rightleftharpoons KCN + KNCO + H_2O$$

【HCN】 $HCN + 2H_2 = CH_3NH_2$

$$HCN + I_2 + NaHCO_3 = NaI + CNI + CO_2 + H_2O$$

$$4HCN_{(气)} + O_2\ _{(空气)} \xrightarrow{Ag\text{催化剂}} 2(CN)_2 + 2H_2O$$

$$4HCN_{(气)} + 5O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} 4CO_2\uparrow + 2N_2\uparrow + 2H_2O$$

$$HCN + 2H_2O = HCOOH + NH_3$$

（或生成$HCOONH_4$）

$$2HCN + NO_2 = (CN)_2 + NO\uparrow + H_2O$$

$$4HCN + PbO_2 \longequal Pb(CN)_2 + (CN)_2 + 2H_2O$$

$$HCN + KOH + 2H_2O = HCOOK + NH_4OH$$

$$(HCN)_3 + Ba(OH)_2 + 3H_2O = CH_2NH_2COOH + 2NH_3 + BaCO_3$$

$$8HCN + 6Cu(OH)_2 = 2Cu_2(CN)_2 + 2Cu(CN)_2 + O_2\uparrow + 10H_2O$$

$$HCN + HCl + 2H_2O = HCOOH + NH_4Cl$$

$$(HCN)_3 + 2HCl + 4H_2O = CH_2NH_2COOH + 2NH_4Cl + CO_2\uparrow$$

$$HCN + HCl \xlongequal{\text{低温}} HCl \cdot HCN$$ （白色固形物）

$$(HCN)_3 + 2HI + 4H_2O = CH_2NH_2COOH + 2NH_4I + CO_2$$

$$2HCN + 2H_2S = HN{=}\underset{\substack{|\\ HS}}{C}{-}\underset{\substack{|\\ SH}}{C}{=}NH + H_2$$ （橙红色）

（二硫乙二胺）

$$2HCN + Na_2CO_3 \xlongequal{450℃} 2NaCN + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$8HCN + 6CuSO_4 + 2H_2O = 2Cu_2(CN)_2 + 2Cu(CN)_2 + 6H_2SO_4 + O_2\uparrow$$

【ClCN】　$ClCN + 2NH_3 = NH_4Cl + NH_2CN$

（BrCN、ICN均可发生类似反应）

【$(OCN)_2$】　$(OCN)_2 + Zn = Zn(OCN)_2$

【$(SCN)_2$】　$x(SCN)_2 \xlongequal{\text{室温}} 2(SCN)_x$

$$(SCN)_2 + M = M^{2+} + 2SCN^-$$

（M为二价的金属元素）

$$(SCN)_2 + H_2O = H^+ + SCN^- + HOSCN$$

$$(SCN)_2 + H_2S = 2HCNS + S$$

$$(SCN)_2 + 2I^- = 2SCN^- + I_2$$

$$(SCN)_2 + 2S_2O_3^{2-} = 2SCN^- + S_4O_6^{2-}$$

$$(SCN)_2 + CH_2 = CH_2 = NCSCH_2—CH_2SCN$$

【$CO(CN)_2$】　$CO(CN)_2 + H_2O = CO_2\uparrow + 2HCN$（反应剧烈）

（氰化羰基）

【HCNO】　$HCNO + H_2O = NH_3 + CO_2$

$$HCNO + 2H_2O = HCO_2NH_2 + H_2O$$

$$HCO_2NH_2 + H_2O = NH_4HCO_3$$

$$HCNO + NH_3 = CO(NH_2)_2$$

$$HCNO + H_2SO_4 + H_2O = NH_4HSO_4 + CO_2$$

【HCNS】　$HCNS + 2H_2 = NH_3 + CH_2S$

$$HCNS + H_2 = HCN + H_2S$$

$$HCN + 2H_2 = CH_3NH_2$$

$$HCNS + H_2O + H_2SO_4 = NH_4HSO_4 + COS$$

$$HCNS + 3H_2O_2 = HCN + H_2SO_4 + 2H_2O$$

$$4HCNS + MnO_2 = (SCN)_2 + Mn(SCN)_2 + 2H_2O$$

$$HCNS + H_2S = CS_2 + NH_3$$

$$2HCNS + MgCO_3 = Mg(CNS)_2 + CO_2 + H_2O$$

$$5HCNS + 6KMnO_4 + 4H_2SO_4 = 6MnSO_4 + 3K_2SO_4 + 5HCN + 4H_2O$$

其他氰化物详见各章。

第二章　氧　　族

2.1　氧　$2s^2 2p^4$　$O=15.9994$

【O_2】　$O_2 + 2H_2 \xlongequal{点燃} 2H_2O$

附：燃料电池：

阳极：$H_2 \xlongequal{催化剂} 2H$

$2H + 2OH^- \xlongequal{} 2H_2O + 2e^-$

净阳极反应：$H_2 + 2OH^- \xlongequal{} 2H_2O + 2e^-$

阴极：$O_2 + 2H_2O + 4e^- \xlongequal{} 4OH^-$

总电池反应是：

$2H_2 + 4OH^- \xlongequal{} 4H_2O + 4e^-$（阳极氧化）

$O_2 + 2H_2O + 4e^- \xlongequal{} 4OH^-$（阴极还原）

$2H_2 + O_2 \xlongequal{} 2H_2O$（电池反应）

$O_2 + 3F_2 + Pt \xlongequal{} O_2^+[PtF_6]^-$

$2O_2 + F_2 + 2AsF_5 \xlongequal{} 2O_2^+[AsF_6]^-$

$5O_2 + 2C_2H_2 \xlongequal{燃烧} 4CO_2\uparrow + 2H_2O$

$O_2 + 2C_6H_8O_6 \xlongequal{} 2C_6H_6O_6 + 2H_2O$

（抗坏血酸）

（利用此反应可除去水中的氧）

$3O_2 \underset{加热}{\overset{放电}{\rightleftharpoons}} 2O_3$

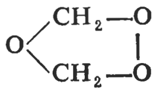
【O_3】　$O_3 = O_2 + [O]$

$4O_3 + 4NaOH \xlongequal{-60℃} 4NaO_3 + O_2 + 2H_2O$

$O_3 + 2KI + H_2O = 2KOH + I_2 + O_2\uparrow$

$2O_3 + PbS = PbSO_4\downarrow + O_2\uparrow$

$2O_3 + 2KClO_3 = 2KCl + 6O_2\uparrow$

$O_3 + C_2H_4 =$ 

$2O_3 + C_{16}H_{10}N_2O_2 = 2C_8H_5NO_2 + 2O_2\uparrow$
（靛蓝）

【H_2O_2】　$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2\uparrow + 46.9$千卡

$H_2O_2 + H_2S = S + 2H_2O$

$H_2O_2 + HS^- + 7OH^- = SO_4^{2-} + 5H_2O$

H_2O_2（100%）$+ HNO_3$（浓）$\rightleftharpoons HNO_4 + H_2O$
（过硝酸）

$H_2O_2 + 2KI = 2KOH + I_2$

$H_2O_2 + 2KI + 2HCl = 2KCl + I_2 + 2H_2O$

$H_2O_2 + 2KI + H_2SO_4 = K_2SO_4 + I_2 + 2H_2O$

$H_2O_2 + 3I^- + 2H^+ = I_3^- + 2H_2O$

$4H_2O_2 + PbS = PbSO_4$（白色）$+ 4H_2O$
（黑色）

$H_2O_2 + 2[Fe(CN)_6]^{3-} = 2[Fe(CN)_6]^{4-} + 2H^+ + O_2\uparrow$
（蓝色）

2.2　硫　$3s^2 3p^4$　S = 32.064

【S】　$S + H_2 \xlongequal{\triangle} H_2S + 4.9$千卡

$S + 3F_2$（过量）$= SF_6$　（SF_6很稳定）

$$2S + 5F_2 = S_2F_{10}$$

$$2S + Cl_2 \overset{\triangle}{=} S_2Cl_{2(液)} + 14.2千卡$$

（将干燥的Cl_2通入熔化的S）

$$S_2Cl_2 + Cl_{2\,(过量)} \overset{\triangle}{\rightleftharpoons} 2SCl_{2(液)} + 12千卡$$

（红色）

$$SCl_2 + Cl_{2(液)} = SCl_4$$

$$S + 2Cl_{2\,(过量)} \overset{\triangle}{—} SCl_4$$

$$S + O_2 \overset{燃烧}{=} SO_2\uparrow$$

$$2S + 3O_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4$$

（S在潮湿空气中缓慢氧化成H_2SO_4）

$$3S + 2Al \overset{\triangle}{=} Al_2S_3 + 141千卡$$

$$S_{(粉)} + Zn_{(粉)} \overset{\triangle}{=} ZnS$$

$$S_{(粉)} + Fe_{(粉)} \overset{\triangle}{=} FeS$$

$$S_{(粉)} + 2Cu_{(粉)} \overset{\triangle}{=} Cu_2S$$

$$S_{(蒸气)} + Hg \overset{\triangle}{=} HgS$$

$$S + 2Ag \underset{或研磨}{\overset{\triangle}{=}} Ag_2S$$

总之：$mS + nM \overset{\triangle}{=} M_nS_m$

（M为大多数金属，除Au、Pt外）

$$S + 2H_2SO_{4(浓)} \overset{\triangle}{=} 3SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$S + 6HNO_2 = 2SO_3 + 3N_2O + 3H_2O$$

$$3S + 6HNO_2 = 3H_2SO_4 + 3N_2$$

$$4S + 3HNO_3 + 3H_2O = 4SO_3 + 3NH_3$$

$$SO_3 + 2NH_3 + H_2O = (NH_4)_2SO_4$$

$$3S + 4HNO_3 = 3SO_2\uparrow + 4NO\uparrow + 2H_2O$$

$$S + 6HNO_3(浓) \xlongequal{\triangle} H_2SO_4 + 6NO_2\uparrow + 2H_2O \text{（主要反应）}$$

$$5S + S_2Cl_2 + 3NH_3 = S_7NH + 2NH_4Cl$$
（亚氨基化硫）

附：石硫合剂

配制时将生石灰、硫磺(粉)、水按照1:2:10混合，在搅拌下煮沸一小时，发生下列反应：

$$3S + 3H_2O \xlongequal{煮沸} 2H_2S + H_2SO_3$$

$$3S + H_2S + Ca(OH)_2 \xlongequal{\triangle} CaS \cdot S_3 + 2H_2O$$

$$4S + H_2S + Ca(OH)_2 \xlongequal{\triangle} CaS \cdot S_4 + 2H_2O$$

$$S + H_2SO_3 + Ca(OH)_2 \xlongequal{\triangle} CaS_2O_3 + 2H_2O$$

石硫合剂在空气中的变化：

$$2CaS_4 + 3O_2 = 2CaS_2O_3 + 4S\downarrow$$

$$2CaS_5 + 3O_2 = 2CaS_2O_3 + 6S\downarrow$$

$$2CaS_2O_3 + O_2 = 2CaSO_4 + 2S\downarrow$$

$$CaS_x + 2H_2O = Ca(OH)_2 + H_2S\uparrow + (x-1)S\downarrow$$

$$CaS_x + CO_2 + H_2O = CaCO_3\downarrow + H_2S\uparrow + (x-1)S\downarrow$$

（上两个方程式中$x = 4$或$x = 5$）

【H_2S】 $H_2S \xlongequal{加热至300℃} H_2\uparrow + S\uparrow + 4.8$千卡

$$2H_2S(气) + 3O_2 \xlongequal{完全燃烧} 2SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2H_2S(气) + O_2 \xlongequal{O_2不足时燃烧} 2S\downarrow + 2H_2O$$

（当H_2S溶液曝露在空气中也发生类似的缓慢的反应）

$$H_2S + 2NH_4OH = (NH_4)_2S + 2H_2O$$

$$H_2S(气) + NH_4OH(稀) = NH_4HS + H_2O$$

$$H_2S + H_2SO_4 \text{(63\%以上)} = SO_2\uparrow + S\downarrow + 2H_2O$$

$$H_2S + 2HNO_{3(浓)} = 2NO_2\uparrow + S\downarrow + 2H_2O$$

$$H_2S + 2HNO_3\ (大于5\%) = 2NO\uparrow + 3S\downarrow + 4H_2O$$

$$H_2S + ZnCl_2 + 2CH_3COONa = 2CH_3COOH + 2NaCl + ZnS\downarrow$$

$$H_2S + 4NaOCl = H_2SO_4 + 4NaCl$$

（去掉乙炔气体中的H_2S的反应）

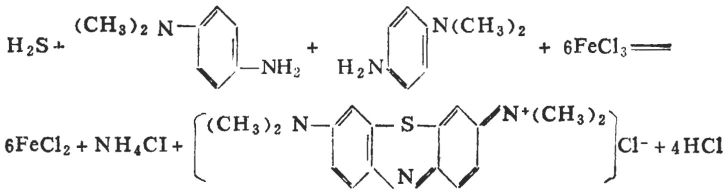
$$H_2S + Na_2PbO_2 = PbS\downarrow + 2NaOH$$

$$H_2S + Zn(CH_3COO)_2 = ZnS\downarrow + 2CH_3COOH$$

$$3H_2S + (CN)_2 = 2CNS^- + S + 6H^+$$

$$3H_2S + SF_6 \xlongequal{400℃} 6HF + 4S$$

亚甲蓝试验：



（可溶性蓝色染料-亚甲蓝）

【H_2S_2、H_2S_3、H_2S_4、H_2S_5】 多硫化氢皆为弱酸，但酸性较H_2S强，在高温或有碱金属存在时都易分解为H_2S和S，还可发生歧化作用。

$$2H_2S_3 = H_2S_4 + H_2S_2$$

【SO】 $3SO + 3H_2O = 2H_2SO_3 + H_2S$

【SO_2】 $SO_2 + Cl_2 \xlongequal{日光或活性炭催化} SO_2Cl_{2(液)}$

（二氯二氧化硫即二氯化硫酰）

$$SO_2 + Cl_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HCl$$

$$SO_2 + Br_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HBr$$

$$SO_2 + I_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HI$$

$$2SO_2 + O_2 \xlongequal[500℃]{V_2O_5或Pt} 2SO_3 + 46.7千卡$$

$$2SO_2 + O_2 + 2H_2O \xlongequal{\quad} 2H_2SO_4$$

$$SO_2 + S(蒸气) \xlongequal{低压、无声放电} 2SO \quad (或生成S_2O_2)$$

$$SO_2 + H_2O \xlongequal{\quad} H_2SO_3$$

$$SO_2 + H_2O_2 \xlongequal{\quad} H_2SO_4$$

$$2SO_2 + 2NO \xlongequal[常温]{500大气压} 2SO_3 + N_2\uparrow$$

$$2SO_2(液) + 3NO_2 \xlongequal{\quad} (NO)_2S_2O_7 + NO\uparrow$$

$$2SO_2 + 2NO_2 \xlongequal{催化} 2NO\uparrow + 2SO_3$$

$$SO_2 + NO_2 + H_2O \xlongequal{\quad} H_2SO_4 + NO\uparrow$$

$$2SO_2 + NO_2 + NO + O_2 + H_2O \xlongequal{\quad} 2H(NO)SO_4$$

$$2H(NO)SO_4 + H_2O \xlongequal{\quad} 2H_2SO_4 + NO + NO_2$$

$$SO_2 + 2CO \xlongequal[500℃]{铝矾土} 2CO_2\uparrow + S + 52千卡$$

$$SO_2 + CaO \xlongequal{\triangle} CaSO_3$$

$$2SO_2 + MnO_2 \xlongequal{10℃以下} MnS_2O_6$$

(将SO_2通入MnO_2的悬浮液中)

$$SO_2 + MnO_2 \xlongequal{高温} MnSO_4 (部分进行的反应)$$

$$SO_2 + Ca(OH)_2 \xlongequal{\quad} CaSO_3\downarrow + H_2O$$

$$CaSO_3 + SO_2(过量) + H_2O \xlongequal{\quad} Ca(HSO_3)_2$$

$$SO_2 + 2NH_3 + H_2O \xlongequal{\quad} (NH_4)_2SO_3$$

$$SO_2 + 3Zn + 6HCl \xlongequal{\quad} 3ZnCl_2 + H_2S\uparrow + 2H_2O$$

$$SO_2(气) + 2H_2S(气) \xlongequal[高温]{微量水} 3S\downarrow + 2H_2O + 55千卡$$

(在常温时反应慢)

将H_2S通入SO_2的溶液内，得到的是各种连多硫酸的混合

溶液。如$H_2S_4O_6$、$H_2S_5O_6$、$H_2S_2O_6$、$H_2S_3O_6$等。

$$3SO_2 + 2HNO_3(气) + 2H_2O(液) = 3H_2SO_4(液) + 2NO\uparrow$$

（铅室法制硫酸的反应原理）

$$SO_2 + (NH_4)_2SO_3 + H_2O = 2NH_4HSO_3$$

$$SO_2(气) + PCl_5(固) = SO_2Cl_2(液) + PCl_3(液)$$

$$SO_2Cl_2 + 2H_2O(热) = H_2SO_4 + 2HCl$$

$$2SO_2 + 2Na[Hg] = Na_2S_2O_4 + 2Hg$$

【SO_3】 $SO_3 + H_2O = H_2SO_4 + 21.28$千卡

$$SO_3 + H_2O_2 = H_2SO_5$$

（过氧硫酸）

$$SO_3 + MgO = MgSO_4$$

$$SO_3 + HCl(气) = SO_2(OH)Cl$$

（氯磺酸即HSO_3Cl）

（发烟H_2SO_4与HCl气体的反应也得到$SO_2(OH)Cl$）

$$2SO_2(OH)Cl \xlongequal{\triangle} H_2SO_4 + SO_2Cl_2$$

$$SO_2(OH)Cl + H_2O = H_2SO_4 + HCl$$

$$SO_3 + H_2SO_4(纯) \xlongequal{冷却} H_2S_2O_7(固)$$

$$H_2S_2O_7(固) + H_2O = 2H_2SO_4$$

$$SO_3 + SCl_2 = SO_2 + SOCl_2$$

（二氯氧化硫）

$$3SO_3 + SCl_2 = S_2O_5Cl_2 + 2SO_2$$

$$SO_3 + SO_2Cl_2 = S_2O_5Cl_2$$

$$2SO_3 + CCl_4 = S_2O_5Cl_2 + COCl_2$$

【$H_2S_2O_4$】 $2H_2S_2O_4 = 3SO_2 + S + 2H_2O$

【H_2SO_3】 $3H_2SO_3 \xlongequal{隔绝空气加热} 2H_2SO_4 + S + H_2O$

$$H_2SO_3 + 2H_2 \xlongequal{催化} S + 3H_2O$$

$$H_2SO_3 + X_2 + H_2O = 2HX + H_2SO_4$$
(X_2表示F_2、Cl_2、Br_2、I_2)

$$2H_2SO_3 + O_2(\text{空气}) = 2H_2SO_4$$
(有Fe^{2+}和As^{2+}存在时反应更快)

$$H_2SO_3 + H_2O_2 = SO_4^{2-} + 2H^+ + H_2O$$

$$H_2SO_3 + NO_2 = H_2SO_4 + NO$$

$$H_2SO_3 + 2NaOH = Na_2SO_3 + 2H_2O$$

$$H_2SO_3 + NaOH(\text{不足}) = NaHSO_3 + H_2O$$

$$H_2SO_3 + 2H_2S = 3S\downarrow + 3H_2O$$

$$H_2SO_3 + HClO = H_2SO_4 + HCl$$
(HBrO也有类似的反应)

$$3H_2SO_3 + HClO_3 = 3H_2SO_4 + HCl$$
($HBrO_3$、HIO_3亦有类似的反应)

$$4H_2SO_3 + HClO_4 = 4H_2SO_4 + HCl$$

$$H_2SO_3 + 2HNO_2 = H_2SO_4 + 2NO + H_2O$$

$$3H_2SO_3 + 2HNO_3 = 3H_2SO_4 + 2NO + H_2O$$

【H_2SO_4】 (查看其他各章)

$$2H_2SO_4(50\%)\xlongequal{\text{电解}}H_2(\text{阴极}) + H_2S_2O_8(\text{阳极})$$
(冷)

$$2H_2SO_4(\text{浓}) + C \xlongequal{\text{微热}} CO_2\uparrow + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$C_{12}H_{22}O_{11}\xlongequal{\text{浓}H_2SO_4}12C + 11H_2O$$

【$H_2S_2O_7$】 $H_2S_2O_7\xlongequal{\triangle}H_2SO_4 + SO_3\uparrow$
(焦硫酸)

$$H_2S_2O_7 + H_2O = 2H_2SO_4$$
(反应时放出大量的热量)

【$H_2S_2O_8$】 $H_2S_2O_8 + H_2O = H_2SO_4 + H_2SO_5$
(过氧硫酸)

$$H_2SO_5 + H_2O = H_2SO_4 + H_2O_2$$
(工业上制H_2O_2的反应)

$$5H_2S_2O_8 + 2MnSO_4 + 8H_2O \xlongequal{Ag^+离子催化} 2HMnO_4 + 12H_2SO_4$$

【$H_2S_5O_6$】 $H_2S_5O_6 = H_2SO_4 + SO_2 + 3S$

【$H_2S_3O_6$】 $H_2S_3O_6 + 4Cl_2 + 6H_2O = 3H_2SO_4 + 8HCl$

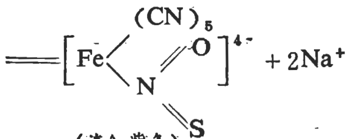
【$H_2S_4O_6$】 $H_2S_4O_6 + S = H_2S_5O_6$

【$H_2S_2O_6$】 $H_2S_2O_6 \xlongequal{\triangle} H_2SO_4 + SO_2\uparrow$

【HSO_3Cl】 $HSO_3Cl + H_2O_2$(无水) $= H_2SO_5$(过氧硫酸) $+ HCl$

$2HSO_3Cl + H_2O_2$(无水) $= H_2S_2O_8$(过二硫酸) $+ 2HCl$

【S^{2-}离子检验法】 $S^{2-} + [Na_2Fe(CN)_5NO]$(亚硝基氰化钠)



(淡红紫色)

2.3 硒 $4s^24p^4$ Se=78.96

【Se】 $Se + H_2 \xlongequal{\triangle} H_2Se$

$Se + 3F_2 = SeF_6$

$2Se + 5F_2 = Se_2F_{10}$

$2Se$(粉) $+ Cl_2$(干燥) $= Se_2Cl_2$(黑红色)

$Se_2Cl_2 + 3Cl_2 = 2SeCl_4$

$Se + O_2 \xlongequal{烧燃} SeO_2$(火焰为纯蓝色)

$$Se + 2Ag \xrightarrow{红热} Ag_2Se$$

$$2Se + SO_3 + 2HCl(气) = Se_2Cl_2 + SO_2 + H_2O$$

(将Se先溶解在发烟H_2SO_4中再用HCl气体处理)

$$Se + As_2O_5 = As_2O_3 + SeO_2$$

(淡红色)

$$2Se(红) + 2Fe_3O_4(蓝) \xrightleftharpoons{高温} 2FeSe + 2Fe_2O_3 + O_2\uparrow$$

(黄——棕)

$$3Se + 6NaOH = 2Na_2Se + Na_2SeO_3 + 3H_2O$$

$$Se(粉) + 2HBr(浓) + 2Br_2 = H_2SeBr_6$$

$$Se + 2H_2SO_4(浓) \xrightarrow{加热} H_2SeO_3 + 2SO_2\uparrow + H_2O$$

$$H_2SeO_3 \xrightarrow{\triangle} SeO_2 + H_2O$$

$$Se + H_2SO_4(浓) \rightleftharpoons SeSO_3 + H_2O$$

$$Se + 4HNO_3 + 8HCl = H_2SeO_3 + 4Cl_2 + 4NO + 5H_2O$$

$$Se + 2HNO_3 \xrightarrow{加热蒸干} SeO_2 + NO_2 + NO + H_2O$$

$$SeO_2 + H_2O = H_2SeO_3$$

$$3Se + 6HNO_3(发烟) = 3H_2SeO_4 + 6NO$$

$$Se + KCN = KSeCN$$

$$KSeCN + HCl = HCN + KCl + Se$$

$$3Se + 2CuCN \xrightarrow{在液态氨中} Cu(SeCN)_2 + CuSe\downarrow$$

(深蓝色)　　(黑色)

$$22Se + 12AgCN + 16NH_3 = 6Ag_2Se\downarrow + Se_4N_4\downarrow + 12NH_4SeCN$$

$$3Se(粉) + 2KBrO_3 + 3H_2O \xrightarrow{中等浓度酸} 3H_2SeO_3 + 2KBr$$

$$5Se + 4KIO_3 + 4HCl + 3H_2O = 5H_2SeO_3 + 4KCl + 2I_2$$

$$2I_2 + KIO_3 + 6HCl = 5ICl + KCl + 3H_2O$$

$$Se + Na_2SO_3(\text{沸液}) = Na_2SeSO_3$$

$$Se + 2KNO_3 \xlongequal{\text{共熔}} K_2SeO_4 + 2NO\uparrow$$

$$2Se + 2Na_2CO_3 + 3O_2 \xlongequal{\triangle} 2Na_2SeO_4 + 2CO_2\uparrow$$

$$Se + 4ICl + 3H_2O = H_2SeO_3 + 4HCl + 2I_2$$

【H_2Se】 $$2H_2Se + 3O_2 \xlongequal{\text{燃烧}} 2SeO_2 + 2H_2O$$

（O_2不足时生成单质Se）

$$3H_2Se + SO_2 = H_2S + 3Se\downarrow + 2H_2O$$

$$H_2Se + 2IO_3^- + 4H^+ = H_2SeO_4 + 2I^- + 2H_2O$$

【SeO_2】 $$SeO_2 + H_2O = H_2SeO_3$$

$$SeO_2 + H_2O_2 = H_2SeO_4$$

$$SeO_2 + 2SO_2 + 4HCl \xlongequal{\triangle} 2SO_2Cl_2 + Se\downarrow + 2H_2O$$

$$2SeO_2(\text{浓}) + 3SO_2 + 2HCl(\text{浓}) + 2H_2O = Se_2Cl_2 + 3H_2SO_4$$

（红棕色油体）

$$SeO_2 + Na_2O_2 \xlongequal[\text{加　热}]{\text{在坩埚中}} Na_2SeO_4$$

（白色熔体）

$$SeO_2 + 4FeO \xlongequal{\text{熔融}} 2Fe_2O_3 + Se\downarrow$$

$$SeO_2 + 4HCl = SeCl_4 + 2H_2O$$

（还可形成加成物$SeO_2\cdot 2HCl$，$SeO_2\cdot 4HCl$）

$$SeO_2 + 4HI = Se\downarrow + 2I_2 + 2H_2O$$

$$2SeO_2 + 2NaCl \xlongequal{\text{共蒸馏}} Na_2SeO_3 + SeOCl_2$$

$$3SeO_2 + CuCl_2(\text{无水}) \xlongequal{\text{空气下加热}} CuSe_2O_5 + SeOCl_2$$

（溶于二氯氧化硒）　　（绿色结晶）

$$SeO_2 + Na_2S_2O_3 + H_2O = 2NaHSO_3 + Se\downarrow$$

$$SeO_2(\text{浓液}) + 4Na_2S_2O_3 + 2H_2O$$

$$=\!=\!=2Na_2S_4O_6 + Se\downarrow + 4NaOH$$

$$SeO_2 + 4Na_2S_2O_3 + 4HCl =\!=\!= Na_2S_4SeO_6 + Na_2S_4O_6 + 4NaCl + 2H_2O$$

$$SeO_2 + 2NaOH_{(稀)} + Na_2S_2O_3 \xlongequal{煮沸} Na_2SO_4 + Na_2SO_3 + Se\downarrow + H_2\uparrow$$

（微过量）　　（黑色）

$$SeO_2 + 2KNO_3 \xlongequal{熔化} K_2SeO_4 + 2NO_2\uparrow$$

$$2SeO_2 + K_2CO_3 + H_2O =\!=\!= 2KHSeO_3 + CO_2\uparrow$$

$$SeO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2SeO_3 + CO_2\uparrow$$

$$2SeO_2 + 2KMnO_4 =\!=\!= 2SeO_3 + MnO_2 + K_2MnO_4$$

$$3SeO_2 + 2KMnO_4 + 2HNO_3 + 2H_2O =\!=\!= 3H_2SeO_4 + 2KNO_3 + 2MnO_2$$

$$SeO_2 + 4HCl_{(浓)} + 3Se =\!=\!= 2Se_2Cl_2 + 2H_2O$$

$$2SeO_2 + 4PCl_5 =\!=\!= Se_2Cl_2 + 4POCl_3 + 3Cl_2$$

$$5SeO_2 + 2PCl_5 =\!=\!= 5SeOCl_2 + P_2O_5$$

【SeO_3】　$SeO_3 + H_2O =\!=\!= H_2SeO_4$

【H_2SeO_3】　$H_2SeO_3 + Cl_2 + H_2O =\!=\!= H_2SeO_4 + 2HCl$

（Br_2也有类似的反应）

$$4H_2SeO_3 + Zn \xlongequal{\triangle} ZnSeO_3\cdot 3H_2SeO_3 + H_2\uparrow$$

（黄色）

$$H_2SeO_3 + 2SO_2 + H_2O \xlongequal{煮沸} 2H_2SO_4 + Se\downarrow$$

$$H_2SeO_3 + 2NaOH =\!=\!= Na_2SeO_3 + 2H_2O$$

$$2H_2SeO_3 + 2NH_4OH =\!=\!= 2Se\downarrow + N_2O\uparrow + 7H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 4HI =\!=\!= Se\downarrow + 2I_2 + 3H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 2H_2S =\!=\!= SeS_2\downarrow + 3H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 2H_2S = Se\downarrow + 2S\downarrow + 3H_2O$$

（反应后得黄色沉淀，加热变红）

$$2H_2SeO_3 + HCNS = 2Se\downarrow + NH_4HSO_4 + CO_2\uparrow$$

$$3H_2SeO_3 + HClO_3 = 3H_2SeO_4 + HCl$$

$$5H_2SeO_3 + 2HClO_3 = 5H_2SeO_4 + H_2O + Cl_2\uparrow$$

$$H_2SeO_{3(固)} + HClO_{4(过量)} \xrightarrow{水中冷却} H_2SeO_3 \cdot HClO_4$$

（白色结晶）

$$H_2SeO_3 + 2H_2SO_3 = 2H_2SO_4 + Se\downarrow + H_2O$$

$$3H_2SeO_3 + 2HMnO_4 = 3H_2SeO_4 + 2MnO_2\downarrow + H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 4KI + 4HNO_3 = 4KNO_3 + Se\downarrow + 2I_2 + 3H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 4KI + 2H_2SO_4 = 2K_2SO_4 + Se\downarrow + 2I_2 + 3H_2O$$

$$H_2SeO_3 + Na_2S_2O_4 = Na_2SO_4 + SO_2 + Se\downarrow + H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 4Na_2S_2O_3 + 4HCl = Na_2S_4SeO_6 + Na_2S_4O_6 + 4NaCl + 3H_2O$$

$$H_2SeO_3 + 2AgNO_3 + ZnO \xrightarrow{pH=5-6} Ag_2SeO_3\downarrow + Zn(NO_3)_2 + H_2O$$

$$3H_2SeO_3 + 2KMnO_4 + 2HNO_{3(热)} = 3H_2SeO_4 + 2KNO_3 + 2MnO_2 + H_2O$$

$$3H_2SeO_3 + 2KMnO_4 + 2KOH = 3H_2SeO_4 + 2K_2MnO_3 + H_2O$$

【H_2SeO_4】 $2H_2SeO_4 + 3S \xrightarrow{63℃} 2Se\downarrow + 3SO_2 + 2H_2O$

$$2H_2SeO_4 + Se_{(粉)} + H_2O = 3H_2SeO_3$$

$$H_2SeO_4 + SO_2 \xrightarrow{130℃以上} H_2SO_4 + SeO_2\downarrow$$

$$SeO_2 + 2SO_2 + 2H_2O = 2H_2SO_4 + Se\downarrow$$

$$2H_2SeO_4\ (100\%) + N_2O_3 = 2NOHSeO_4 + H_2O$$

$$H_2SeO_4\ (83\%) + N_2O_4(\text{液体}) = (NO)_2SeO_4 + H_2O_2$$

$$H_2SeO_4 + 2NH_3 = (NH_4)_2SeO_4$$

$$H_2SeO_4 + 2HCl(\text{浓}) \xlongequal{\text{共煮沸}} H_2SeO_3 + Cl_2\uparrow + H_2O$$

$$H_2SeO_4(\text{浓}) + 2HI = H_2SeO_3 + I_2 + H_2O$$

$$H_2SeO_4(\text{浓}) + 6HI \xlongequal{\triangle} Se\downarrow + 3I_2 + 4H_2O$$

$$H_2SeO_4 + 3H_2S \xlongequal{30-90℃} Se + 3S + 4H_2O$$

$$H_2SeO_4 + SnCl_2 = H_2SeO_3 + SnOCl_2$$

$$H_2SeO_4 + Pb(NO_3)_2 = PbSeO_4\downarrow + 2HNO_3$$

$$H_2SeO_4 + 2CuCO_3 + 2HCl = CuCl_2 + CuSeO_4 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

【Na_2SeO_3】　$Na_2SeO_3 + 4FeO \xlongequal{\text{熔融}} 2Fe_2O_3 + Na_2O + Se\downarrow$

$$Na_2SeO_3 + 3H_2C_2O_4 \xlongequal{\text{在高锰酸参加下}} Na_2C_2O_4 + 4CO_2 + Se\downarrow + 3H_2O$$

$$Na_2SeO_3 + MgCl_2 = MgSeO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2SeO_3 + CuSO_4 = CuSeO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

（淡蓝绿色结晶）

【K_2SeO_3】　$K_2SeO_3 + 3H_2S \xlongequal{\text{强碱性}} SeS_2 + K_2S + 3H_2O$

$$SeS_2 + 2KOH + H_2S = K_2S + 2S + Se\downarrow + 2H_2O$$

（在冷而稀的K_2SeO_3溶液中加入固体硫脲则得红色粉末硒）

$$K_2SeO_3 + BaCl_2 = BaSeO_3\downarrow + 2KCl$$

（白色沉淀溶于稀H_2SO_4）

【Ag_2SeO_3】　$2Ag_2SeO_3 + Br_2 + 2H_2O \xlongequal{\text{共振摇}} 2AgBr\downarrow + 2H_2SeO_4 + 2Ag$

（Cl_2也有类似的反应发生）

【$SeSeO_3$】　$SeSeO_3 + SO_3(\text{过量}) = 2SeO_2\downarrow + SO_2\uparrow$

【Na_2SSeO_3】 $Na_2SSeO_3 + 2HCl = 2NaCl + SO_2 + Se\downarrow + H_2O$

$Na_2SSeO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + SO_2 + Se\downarrow + H_2O$

【K_2SeO_4】 $2K_2SeO_4 + 2H_2O \xlongequal{电解} K_2Se_2O_8 + 2KOH + H_2$

$K_2SeO_4 + nSO_3 = \underset{(多硫酸钾)}{K_2[S_nO_{3n+1}]} + SeO_3$

$2K_2SeO_4 + 3HF_{(40\%)} \xlongequal{干燥器中} \underset{(结晶)}{KHSe_2O_7} + 3KF + H_2O$

$K_2SeO_4 + Pb(NO_3)_2 = PbSeO_4 + 2KNO_3$

【$BaSeO_4$】 $BaSeO_4 + 4HCl_{(浓)} \xlongequal{煮沸} H_2SeO_3 + BaCl_2 + Cl_2 + H_2O$

$BaSeO_4 + H_2SO_4 = H_2SeO_4 + BaSO_4\downarrow$

【$PbSeO_4$】 $PbSeO_4 + H_2S = H_2SeO_4 + PbS\downarrow$

【Ag_2SeO_4】 $2Ag_2SeO_4 + Br_2 + 2H_2O = 2H_2SeO_5 + 2AgBr + 2Ag$

【Na_2Se】 $Na_2Se + \underset{(蓝色)}{FeO} \rightleftharpoons \underset{(红色)}{FeSe} + Na_2O$

【Al_2Se_3】 $Al_2Se_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2Se\uparrow$

【P_2Se_5】 $2P_2Se_5 + 2PCl_5 = 5Se_2Cl_2 + 6P$

【Sb_2Se_3】 $2Sb_2Se_3 + 6PCl_3 = 3Se_2Cl_2 + 4SbCl_3 + 6P$

【$C_5H_6O_2Se$】 $\underset{(乙酰丙酮硒)}{2C_5H_6O_2Se} + 2HCl_{(浓)} = 2C_5H_7O_2Cl + 2Se$

【Na_2SSe】 $Na_2SSe + 2HCl = 2NaCl + Se + H_2S$

【$KSeCN$】 $KSeCN + 3I_2 + 3H_2O = H_2SeO_3 + KI + 4HI + ICN$

【Se_2Cl_2】 $2Se_2Cl_2 + Si = SiCl_4 + 4Se$

$2Se_2Cl_2 + Te = TeCl_4 + 4Se$

$Se_2Cl_2 + 2K = 2KCl + 2Se$

$$Se_2Cl_2 + 2Na \xlongequal{\triangle} 2NaCl + 2Se$$

$$Se_2Cl_2 + Mg \xlongequal{} MgCl_2 + 2Se$$

$$Se_2Cl_2 + 3Mg(\text{过量}) \xlongequal{} 2MgSe + MgCl_2$$

$$3Se_2Cl_2 + 2Fe \xlongequal{} 2FeCl_3 + 6Se\downarrow$$

$$2Se_2Cl_2 + Sn \xlongequal{} SnCl_4 + 4Se$$

$$Se_2Cl_2 + 3Cu \xlongequal{} 2CuSe + CuCl_2$$

$$Se_2Cl_2(\text{过量}) + Cu \xlongequal{} CuCl_2 + 2Se$$

$$Se_2Cl_2 + 3Hg(\text{过量}) \xlongequal{\text{温热}} 2HgSe + HgCl_2$$

$$Se_2Cl_2(\text{过量}) + Hg \xlongequal{} HgCl_2 + 2Se$$

$$2Se_2Cl_2 + 3H_2O \xlongequal{} H_2SeO_3 + 4HCl + 3Se\downarrow$$

$$4Se_2Cl_2 + TeO_2 \xlongequal{} TeCl_4 + 2SeOCl_2 + 6Se$$

$$4Se_2Cl_2 + 20KO_2 \xlongequal{} 2K_2SeO_3 + 4K_2SO_4 + 8KCl + 6Se + 9O_2$$

$$2Se_2Cl_2 + 5Na_2O_2 \xlongequal{} 2Na_2SeO_3 + Na_2SeO_4 + 4NaCl + Se$$

$$2Se_2Cl_2 + CaO \xlongequal{} SeOCl_2 + CaCl_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2 + MgO \xlongequal{} MgCl_2 + SeOCl_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2(\text{过量}) + ZnO \xlongequal{} SeOCl_2 + ZnCl_2 + 3Se$$

$$3Se_2Cl_2 + 2ZnO(\text{过量}) \xlongequal{} 2SeOCl_3 + ZnCl_2 + ZnSe + 3Se$$

$$6Se_2Cl_2 + Fe_2O_3 \xlongequal{} 3SeOCl_2 + 2FeCl_3 + 9Se$$

$$2Se_2Cl_2 + PbO \xlongequal{} SeOCl_2 + PbCl_2 + 3Se$$

$$3Se_2Cl_2 + PbO_2 \xlongequal{} 2SeOCl_2 + PbCl_2 + 4Se$$

$$2Se_2Cl_2 + 2CuO \xlongequal{} 2CuCl_2 + 4Se + O_2$$

$$2Se_2Cl_2(\text{过量}) + CuO \xlongequal{} SeOCl_2 + CuCl_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2(\text{过量}) + HgO \xlongequal{} SeOCl_2 + HgCl_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2 + 2HgO_{(过量)} = 2HgCl_2 + SeO_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2 + 2Ag_2O = 4AgCl + 4Se + O_2$$

$$2Se_2Cl_{2(过量)} + Ag_2O = 2AgCl + SeOCl_2 + 3Se$$

$$Se_2Cl_2 + H_2S = 2HCl\uparrow + 2Se + S$$

$$Se_2Cl_2 + 2HIO_{3(过量)} = 2SeO_2 + 2HI + Cl_2 + O_2$$

$$Se_2Cl_2 + 2FeCl_2 = 2FeCl_3 + 2Se\downarrow$$

$$Se_2Cl_2 + SnCl_2 = SnCl_4 + 2Se$$

$$2Se_2Cl_2 + SnSe_2 = SnCl_4 + 6Se$$

$$Se_2Cl_2 + 2CuCl = 2CuCl_2 + 2Se$$

$$Se_2Cl_2 + CuS = CuCl_2 + 2Se + S$$

$$Se_2Cl_2 + CuSe = CuCl_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2 + Cu_2Se = 2CuCl_2 + 5Se$$

$$Se_2Cl_2 + Ag_2Se = 2AgCl + 3Se$$

$$Se_2Cl_2 + ZnSe = ZnCl_2 + 3Se$$

$$3Se_2Cl_2 + Bi_2Se_3 = 2BiCl_3 + 9Se$$

$$2Se_2Cl_2 + Na_2CO_{3(熔化)} \xlongequal{\triangle} SeOCl_2 + 2NaCl + CO_2 + 3Se$$

$$2Se_2Cl_2 + ZnCO_3 = ZnCl_2 + SeOCl_2 + CO_2 + 3Se$$

$$4Se_2Cl_2 + MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O \xlongequal{130℃} 2SeOCl_2 + 2MgCl_2 + CO_2 + 6Se + 4H_2O$$

$$2Se_2Cl_2 + PCl_{5(过量)} \xlongequal{放置} SeCl_4 \cdot PCl_5 + 3Se\downarrow$$

【$SeCl_2$】 $$SeCl_2 + 5Cu \xlongequal{在真空中加热至105℃} 2Cu_2Se + CuCl_2$$

$$3SeCl_2 + 2FeSe = 2FeCl_3 + 5Se$$

【$SeCl_4$】 $$2SeCl_4 + 3Cu \xlongequal{在真空中加热至105℃} 3CuCl_2 + Se_2Cl_2$$

$$SeCl_4 + H_2O = SeOCl_2 + 2HCl$$

$$SeCl_4 + 3H_2O = H_2SeO_3 + 4HCl$$

$$SeCl_4 + 2SO_2 + 4H_2O = 2H_2SO_4 + 4HCl + Se$$

$$SeCl_4 + \underset{\text{(液体)}}{2H_2S} \xlongequal{\text{室温}} 4HCl + Se + 2S$$

$$2SeCl_4 + 3H_2S_{\text{(液体)}} \xlongequal{\text{低温}} Se_2Cl_2 + 6HCl + 3S$$

$$3SeCl_4 + 2H_2SO_4 = 2SeSO_3Cl_4 + 4HCl + SeO_2$$

$$SeCl_4 + 2H_2SO_4 = SeOCl_2 + H_2S_2O_7 + 2HCl$$

$$SeOCl_2 + 2H_2SO_4 = H_2S_2O_7 + SeO_2 + 2HCl$$

$$SeCl_4 + 2CuCl_2 + 4SnCl_2 = Cu_2Se + 4SnCl_4$$

【SeS_2】 $$SeS_2 + 3Hg_{\text{(蒸气)}} = \underset{\text{(黑色)}}{2HgS\downarrow} + HgSe$$

【$Se(CN)_2$】 $$2Se(CN)_{2\text{(醚溶液)}} + 3H_2O \xlongequal{\text{加}NaHCO_3} H_2SeO_3 + HSeCN + 3HCN$$

【$SeOCl_2$】 $$2SeOCl_2 + 3S = Se_2Cl_2 + S_2Cl_2 + SO_2$$

$$5SeOCl_2 + 2P \xlongequal[\text{熔冰温度}]{\text{在真空中}} 2Se_2Cl_2 + SeCl_4 + P_2O_5 + Cl_2$$

$$4SeOCl_2 + 2Bi = 2BiCl_3 + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$4SeOCl_2 + 3Co_{\text{(粉)}} = 3CoCl_2 + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$4SeOCl_2 + 2Fe = 2FeCl_3 + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$4SeOCl_2 + 3Ni_{\text{(粉)}} = 3NiCl_2 + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$8SeOCl_2 + 3Sn \xlongequal{\text{在冷时}} 3SnCl_4 + 2Se_2Cl_2 + 4SeO_2$$

$$4SeOCl_2 + 3Pb = 3PbCl_2 + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$4SeOCl_2 + 3Cu = 3CuCl_2 + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$4SeOCl_2 + 6Ag \xlongequal{\text{冷}} 6AgCl + Se_2Cl_2 + 2SeO_2$$

$$Se_2Cl_{2\text{(过量)}} + 2Ag = 2AgCl + 2Se$$

$$Se_2Cl_2 + 6Ag_{\text{(过量)}} = 2AgCl + 2Ag_2Se$$

$$4SeOCl_2 + 2I_2O_5 = 4ICl + 4SeO_2 + 2Cl_2 + 3O_2$$

$$3SeOCl_{2(蒸气)} + Fe_2O_3 \xlongequal{400℃} 2FeCl_3 + 3SeO_2$$

$$SeOCl_2 + CoO = CoCl_2 + SeO_2$$

$$SeOCl_2 + NiO = NiCl_2 + SeO_2$$

$$SeOCl_2 + PbO = PbCl_2 + SeO_2$$

$$2SeOCl_{2(少量)} + PbO_2 = PbCl_2 + 2SeO_2 + Cl_2$$

$$4SeOCl_2 + Pb_3O_4 = 3PbCl_2 + 4SeO_2 + Cl_2$$

$$SeOCl_2 + CuO = CuCl_2 + SeO_2$$

$$3SeOCl_2 + Cu_2O = 2CuCl_2 + Se_2Cl_2 + SeO_2 + O_2$$

$$SeOCl_2 + Ag_2O = 2AgCl + SeO_2$$

$$SeOCl_2 + 2H_2S_{(干)} = SeS + 2HCl\uparrow + S + H_2O$$

$$SeS = Se + S$$

$$3SeOCl_2 + 2HIO_3 = 2ICl + 3SeO_2 + 2Cl_2\uparrow + H_2O + O_2$$

$$8SeOCl_2 + 4HIO_4 \xlongequal{共热} 4ICl + 8SeO_2 + 6Cl_2\uparrow + 3O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$SeOCl_2 + 2H_2SO_4 = H_2S_2O_7 + 2HCl + SeO_2$$

$$2SeOCl_2 + Ag_2Se = 2AgCl + Se_2Cl_2 + SeO_2$$

$$2SeOCl_2 + 2KIO_3 = 2ICl + K_2SeO_4 + SeO_2 + Cl_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$SeOCl_2 + 4NaHCO_3 = Na_2SeO_3 + 2NaCl + 4CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$SeOCl_{2(无水)} + 2Na_2CO_3 = Na_2SeO_3 + 2NaCl + 2CO_2\uparrow$$

$$SeOCl_2 + 2CaCO_3 = CaSeO_3 + CaCl_2 + 2CO_2\uparrow$$

2.4 碲 $5s^2 5p^4$ Te＝127.60

【Te】 $Te + H_2 \xlongequal{\triangle} H_2Te$（反应很快）

$Te + 3F_{2(过量)} \xlongequal{} TeF_6$

$Te + Cl_2 \xlongequal{} TeCl_2$

$Te + O_2 \xlongequal{燃烧} TeO_2$（火焰为绿蓝色）

$3Te + 6NaOH \xlongequal{} 2Na_2Te + Na_2TeO_3 + 3H_2O$

$Te + H_2SO_4 \xlongequal{} TeSO_3 + H_2O$

$3Te + 4HNO_3 \xlongequal{} 3TeO_2 + 4NO\uparrow + 2H_2O$

$Te + 2KCN \xlongequal{共熔化} K_2Te + (CN)_2$

$2K_2Te + O_2 + 2H_2O \xlongequal{} 4KOH + 2Te$

【TeO_2】 $3TeO_2 + H_2Cr_2O_7 + 6HNO_3 + 5H_2O \xlongequal{}$
$3H_6TeO_6 + 2Cr(NO_3)_3$

【TeO_3】 $2TeO_3 \xlongequal{高温} 2TeO_2 + O_2\uparrow$

$TeO_3 + 2KOH_{(浓)} \xlongequal{煮沸} K_2TeO_4 + H_2O$

$2TeO_3 + 8HCl \xlongequal{} TeCl_4 + TeO_2 + 2Cl_2\uparrow + 4H_2O$

【H_2TeO_3】 $H_2TeO_3 + 2SO_2 + H_2O \xlongequal{} 2H_2SO_4 + Te$

$5H_2TeO_3 + 2HClO_3 + 9H_2O \xlongequal{} 5H_6TeO_6 + Cl_2\uparrow$

$3H_2TeO_3 + K_2Cr_2O_7 + 8HCl \xlongequal{} 3H_2TeO_4 + 2CrCl_3$
$+ 4H_2O + 2KCl$

【H_6TeO_6】 $H_6TeO_6 \xlongequal{\triangle} TeO_3 + 3H_2O$
（碲酸）
（H_6TeO_6酸性很弱，为强氧化剂）

【K_2TeO_3】 $K_2TeO_3 + 2HCl \xlongequal{} H_2TeO_3\downarrow + 2KCl$
（沉淀可溶于过量的稀盐酸中）

$$K_2TeO_3 + 3H_2S \xlongequal{\text{酸性}} TeS_2\downarrow(\text{棕色}) + K_2S + 3H_2O$$

$$TeS_2 = Te + 2S$$

$$K_2TeO_3 + BaCl_2 = BaTeO_3\downarrow + 2KCl$$

$$TeO_3^{2-} + N_2H_4\cdot 2HCl = Te\downarrow + 2Cl^- + N_2\uparrow + 3H_2O$$

(盐酸肼)

$$TeO_3^{2-} + H_2PO_2^- \xlongequal{\triangle} PO_4^{3-} + Te\downarrow + H_2O$$

【K_2TeO_4】 $K_2TeO_4 + 2HCl \xlongequal{\triangle} K_2TeO_3 + Cl_2\uparrow + H_2O$

$$K_2TeO_4 + 4HCl \xlongequal{\text{煮沸}} H_2TeO_3 + 2KCl + Cl_2\uparrow + H_2O$$

$$2TeO_4^{2-} + 3H_2PO_2^- = 3PO_4^{3-} + 2Te\downarrow + 2H^+ + 2H_2O$$

【$TeCl_2$】 $2TeCl_2 = TeCl_4 + Te$

第三章 氮 族

3.1 氮 $2s^2 2p^3$ $N = 14.0067$

[N]

$$N_2 + 3H_2 \xlongequal[300—700p.500℃]{铁触媒} 2NH_3\uparrow + 22千卡$$

（铁触媒含有0.5%Al_2O_3、0.5%K_2O、还有铁的化合物。）

$$N_2 + O_2 \xlongequal[4000℃]{放电} 2NO\uparrow$$

$$2N_2 + 3C + 6H_2O + 83千卡 \xlongequal{} 4NH_3 + 3CO_2$$

（在土壤中固氮菌的作用下所发生的反应）

$$N_2 + CH_4 \xlongequal{高温} HCN\uparrow + NH_3\uparrow$$

[NH_3]

$$2NH_{3(液态)} \rightleftharpoons NH_4^+ + NH_2^-$$

$$4NH_{3(气)} + 3F_2 \xlongequal{} 3NH_4F + NF_{3(反应剧烈)}$$

$$NF_3 + NH_4F \xlongequal{} 4HF + N_2$$

$$2NH_{3(稀液)} + Cl_2 \xlongequal{} NH_4Cl + NH_2Cl$$

$$NH_2Cl + 2NH_{3(过量)} \xlongequal{} NH_4Cl + N_2H_4$$

$$2NH_{3(气)} + 3Cl_{2(水液)} \xlongequal{} 6HCl + N_2$$

（Br_2的水溶液也有类似的反应）

$$8NH_3 + 3Br_2 \xlongequal{} 6NH_4Br + N_2$$

$$NH_3 + 2O_2 \xlongequal{土壤中细菌作用} HNO_3 + H_2O$$

$$2NH_3 + 3O_2 \xlongequal{} 2HNO_2 + 2H_2O + 172千卡$$

（土壤中亚硝酸菌作用所发生的反应）

$$4NH_3 + 3O_2 \xlongequal{燃烧} 2N_2\uparrow + 6H_2O$$

（此反应只能在纯氧中燃烧，跟空气中的氧不能反应）

$$2NH_3 + 2O_2 \xlongequal{\quad} N_2O + 3H_2O + 264\text{千卡}$$

$$4NH_3 + 5O_2 \xlongequal[加热至800℃]{铂铑催化剂} 4NO\uparrow + 6H_2O\uparrow + 215\text{ 千卡}$$

$$6NH_3 + 4O_3 \xlongequal{\quad} 3NH_4NO_3 + 3H_2O$$

$$16NH_3\text{（液态）} + 10S \rightleftharpoons 6(NH_4)_2S + N_4S_4$$

（有AgI存在时反应向右进行到底）

$$(NH_4)_2S + 2AgI \xlongequal{\quad} Ag_2S\downarrow + 2NH_4I$$

$$2NH_3 + 2Na \xlongequal{加热至350℃} 2NaNH_2 + H_2\uparrow$$

（碱金属和碱土金属均可以发生）

$$NaNH_2 + H_2O \xlongequal{\quad} NaOH + NH_3\text{（反应强烈）}$$

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_3\cdot H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

$$4NH_3 + 6NO \xlongequal{CuO—CrO} 5N_2\uparrow + 6H_2O + 1809\text{千卡}$$

$$8NH_3 + 6NO_2 \xlongequal{CuO—CrO} 7N_2\uparrow + 12H_2O + 2735\text{千卡}$$

$$2NH_3 + CO_2 \xlongequal[200\text{大气压}]{180℃} CO(NH_2)_2 + H_2O$$

（生产尿素的反应原理）

$$2NH_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons (NH_4)_2CO_3 + Q$$

$$(NH_4)_2CO_3 + CO_2\text{（过量）} + H_2O \rightleftharpoons 2NH_4HCO_3 + Q$$

总反应 $NH_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons NH_4HCO_3$

（在过量的CO_2存在之下）

$$NH_3 + CO + [Cu(NH_3)_2]Ac \xlongequal{\quad} [Cu(NH_3)_3]Ac\cdot CO$$

$$[Cu(NH_3)_3]Ac\cdot CO \xlongequal{加热减压} [Cu(NH_3)_2]Ac + CO\uparrow + NH_3$$

（铜洗去CO的原理。Ac^-表示CH_3COO^-）

$$2NH_3(气) + 3Cu_2O(红热) \xlongequal{\triangle} 2Cu_3N + 3H_2O$$

$$2NH_3(气) + 3CuO(红热) \xlongequal{\triangle} 3Cu + N_2\uparrow + 3H_2O$$

$$NH_3 + HCl = NH_4Cl$$

(HF也有类似的反应)

$$NH_3 + 3HOCl \underset{慢}{\overset{pH<3}{\rightleftharpoons}} NCl_3 + 3H_2O$$

$$2NCl_3 \xlongequal{90℃} N_2\uparrow + 3Cl_2\uparrow + 110千卡$$

$$NH_3 + 2HOCl \xlongequal{pH3—5} NHCl_2 + 2H_2O$$

(二氯化亚胺)

$$NH_3 + HOCl \xlongequal{pH>8} NH_2Cl + H_2O$$

(氯胺)

$$2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$$

$$NH_3 + HNO_2 = N_2\uparrow + 2H_2O$$

$$NH_3 + HNO_3 = NH_4NO_3$$

$$3NH_3 + H_3PO_4 = (NH_4)_3PO_4$$

〔还可生成$NH_4H_2PO_4$或$(NH_4)_2HPO_4$〕

$$4NH_3 + 3(KBr\cdot IBr) = 3KBr + 3NH_4Br + NI_3$$

(黑色)

$$NH_3 + NaOCl = NaOH + NH_2Cl$$

(KOCl也有类似的反应)

$$NH_2Cl + NaOH + NH_3 = N_2H_4 + NaCl + H_2O$$

$$2NH_3 + NaOCl = N_2H_4 + NaCl + H_2O$$

(肼)

$$4NH_3 + 2MnSO_4 + H_2O_2 + 4H_2O = 2Mn(OH)_3 + 2(NH_4)_2SO_4$$

$$2NH_3 + HgCl_2 = Hg(NH_2)Cl\downarrow + NH_4Cl$$

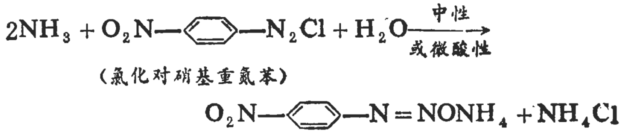
(氨基氯化汞)

$$4NH_3 + COCl_2 = CO(NH_2)_2 + 2NH_4Cl$$

$$4NH_3 + SOCl_2 = SO(NH_2)_2 + 2NH_4Cl$$
（硫酰胺）

$$4NH_3 + SO_2Cl_2 = SO_2(NH_2)_2 + 2NH_4Cl$$
（硫酰二胺）

$$4NH_3 + 6HCHO \xrightarrow[\text{水解加}H_2SO_4]{\text{共同蒸发}} (CH_2)_6N_4 + 6H_2O$$
（环六次甲基四胺又叫乌洛托品）



（氯化对硝基重氮苯）

【N_2H_4】 $3N_2H_4 \xrightarrow{\text{加热}350℃} 4NH_3\uparrow + N_2\uparrow$

$$N_2H_4 + O_{2(\text{空气})} \xrightarrow{\text{燃烧}} N_2\uparrow + 2H_2O + 149\text{千卡}$$

$$2N_2H_4 + 2Na = 2NaN_2H_3 + H_2\uparrow$$

$$N_2H_4 + H_2O \rightleftharpoons N_2H_5^+ + OH^-$$

$$N_2H_4 + 7H_2O_2 = 2HNO_3 + 8H_2O$$

$$N_2H_{4(100\%\text{液})} + 2H_2O_{2(\text{液})} = N_2\uparrow + 4H_2O\uparrow + 153\text{千卡}$$

$$N_2H_4 + HNO_2 = NH_3\uparrow + N_2O\uparrow + H_2O$$

$$N_2H_4 + HNO_2 = HN_3 + 2H_2O$$
（叠氮酸）

$$HN_3 + HNO_2 = N_2O + N_2 + H_2O$$

$$N_2H_4 + H^+ \rightleftharpoons N_2H_5^+$$

$$N_2H_4 + 2H^+ \rightleftharpoons N_2H_6^{2+}$$

【HN_3】 $2HN_{3(\text{蒸气})} \xrightarrow{300℃\text{以上}} 3N_2 + H_2 + 142\text{千卡}$

$$4HN_3 + 2F_2 = NH_4F + 3FN_3 + N_2$$

$$HN_3 + HOCl = ClN_3 + H_2O$$

$$HN_3 + HNO_2 = N_2O + N_2 + H_2O$$

【NH_2OH】 $3NH_2OH \xlongequal{15℃以上} NH_3 + N_2 + 3H_2O$

$$4NH_2OH \xlongequal{15℃以上} 2NH_3 + N_2O + 3H_2O$$（部分反应）

$$2NH_2OH = N_2 + 2H^+ + 2e^- + 2H_2O$$

（在酸性溶液中发生的反应）

$$2NH_2OH + 2OH^- = N_2 + 4H_2O + 2e^-$$

（在碱性溶液中发生的反应）

$$NH_2OH + HNO_2 = N_2O + 2H_2O$$

【NH_4OH】 $2NH_4OH + 4O_2 = 2HNO_3 + 4H_2O$

（在土壤中硝化菌作用下进行的反应）

$$NH_4OH + HNO_2 = NH_4NO_2 + H_2O$$

【NH_2CN】 $NH_2CN + H_2O \xlongequal{强酸或强碱} CO(NH_2)_2$

$$NH_2CN + NH_3 = (NH_2)_2CNH$$

【NCl_3】 $2NCl_3 \xlongequal[或冲击]{加热至90℃} 3Cl_2 + N_2 + 110$千卡

$$NCl_3 + 3H_2O \rightleftharpoons 3HOCl + NH_3$$

【N_4S_4】 $N_4S_4 \xlongequal{\triangle} 2N_2 + 4S + 128$千卡

（爆炸性的分解反应）

$$2N_4S_4 + 15H_2O = 2(NH_4)_2S_3O_6 + (NH_4)_2S_2O_3 + 2NH_3$$

（慢慢的分解）

【NH_4Cl】 $NH_4Cl \underset{冷}{\overset{加热至338℃}{\rightleftharpoons}} HCl + NH_3\uparrow$

（NH_4Br也有类似的反应，NH_4F在110℃分解）

$$NH_4Cl(浓液) + 3Cl_2 \xlongequal{pH<4.4} 4HCl + NCl_3$$

（当$pH>8.5$时生成NH_2Cl，当$pH=4.5—5$时，生成$NHCl_2$）

$$NH_4Cl + Br_2 = NH_4ClBr_2$$

$$2NH_4Cl + 8NaHCO_3 + 3Br_2 = 6NaBr + 2NaCl + 8CO_2 + N_2 + 8H_2O$$

$$2NH_4Cl + 4MO \xlongequal{\triangle} MCl_2 + 3M + N_2 + 4H_2O$$

$$2NH_4Cl + MO \xlongequal{\triangle} MCl_2 + 2NH_3 + H_2O$$

（MO表示二价的金属氧化物）

$$2NH_4Cl + 2KOH + 3HCHO = N_2(CH_2)_3 + 2KCl + 5H_2O$$

$$2NH_4Cl + H_2SO_4 \xlongequal{\text{高温}} (NH_4)_2SO_4 + 2HCl\uparrow$$

$$NH_4Cl + HNO_3 \xlongequal{\text{高温}} N_2O\uparrow + HCl\uparrow + 2H_2O\uparrow$$

$$NH_4Cl + KNO_2 \xlongequal[\text{50—60℃}]{\text{在真空中}} NH_4NO_2 + KCl$$

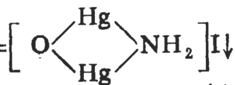
$$NH_4NO_2 \xlongequal{\text{100℃}} N_2 + 2H_2O$$

总式 $NH_4Cl + KNO_2 = KCl + N_2 + 2H_2O$

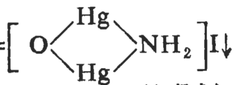
（$NaNO_2$有类似的反应）

$$NH_4Cl_{(\text{固})} + NH_4HSO_{4(\text{固})} = (NH_4)_2SO_4 + HCl\uparrow$$

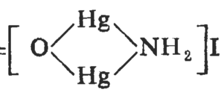
$$2NH_4^+ + 2I^- + 2ClO^- \underset{\text{或碱性}}{\overset{\text{中性}}{\rightleftharpoons}} NHI_2\uparrow + NH_3 + 2Cl^- + 2H_2O$$

$NH_4Cl + 2K_2[HgI_4] + 4KOH =$ ↓ $+ KCl + 7KI + 3H_2O$

（奈斯勒试剂）　　　（红色）

或 $NH_4^+ + 2HgI_4^{2-} + 4OH^- =$ ↓ $+ 7I^- + 3H_2O$

（红褐色）

$NH_3 + 2HgI_4^{2-} + 3OH^- =$  $+ 7I^- + 2H_2O$

附： 奈氏试剂配制

$$2KI + HgCl_2 = HgI_2 + 2KCl$$

$$HgI_2 + 2KI = K_2[HgI_4]$$

$$3NH_4Cl + Na_3Co(NO_2)_6 = (NH_4)_3Co(NO_2)_6\downarrow + 3NaCl$$

（高钴亚硝酸钠）　　（黄色）

$$NH_4Cl + NaHC_4H_4O_6 = NH_4HC_4H_4O_6\downarrow + NaCl$$

（白色）

$$4NH_4Cl + 6HCHO = C_6H_{12}N_4 + 4HCl + 6H_2O$$

（六亚甲基四胺即乌洛托品）

【$(NH_4)_2S$】

$$(NH_4)_2S + (x-1)S = (NH_4)_2S_x$$

$$(NH_4)_2S + H_2O \rightleftharpoons NH_4HS + NH_4OH$$

$$(NH_4)_2S + 2HNO_3 = 2NH_4NO_3 + H_2S\uparrow$$

$$3H_2S + 2HNO_3 = 2NO + 3S + 4H_2O$$

$$2NO + O_2 = 2NO_2$$

$$NO_2 + NO + 2NH_3 + H_2O = 2NH_4NO_2$$

$$2NH_4NO_2 = 2N_2 + 4H_2O$$

$$(NH_4)_2S + 2CH_3COOH = 2CH_3COONH_4 + H_2S\uparrow$$

$$CH_3COONH_4 + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + NH_3 + H_2O$$

$$3(NH_4)_2S + Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4 + 3H_2S\uparrow$$

【$(NH_4)_2S_2$】 $(NH_4)_2S_2 + 2CH_3COOH = 2CH_3COONH_4 + H_2S\uparrow + S\downarrow$

【$(NH_4)_2S_3$】 $(NH_4)_2S_3 + 2HCl = 2NH_4Cl + H_2S + 2S\downarrow$

【NH_4HS】 $NH_4HS + 2NaOH = Na_2S + NH_3\uparrow + 2H_2O$

【NH_4SCN】 $NH_4SCN \xrightleftharpoons{110℃加H_2SO_4} H_2NCSNH_2$

【NH_4HF_2】 $NH_4HF_2 + 3F_2 = NF_3 + 5HF$

【NH_4ClO_3】 $2NH_4ClO_3 \xlongequal{加热至60℃以上} 2NH_4Cl + 3O_2\uparrow$

【NH_4ClO_4】 $2NH_4ClO_4 \xlongequal{\triangle} Cl_2\uparrow + 2O_2\uparrow + N_2\uparrow + 4H_2O$

$$2NH_4ClO_4 + 4Zn = 4ZnO + N_2\uparrow + Cl_2\uparrow + 4H_2O$$

$$2NH_4ClO_4 + H_2SO_4 = 2HClO_4 + (NH_4)_2SO_4$$

$$34NH_4ClO_4 + 36HNO_{3(稀)} + 8HCl \xlongequal{煮沸} 34HClO_4 + 35N_2O\uparrow + 4Cl_2\uparrow + 73H_2O$$

【$(NH_4)_2SO_4$】 $(NH_4)_2SO_4 \xrightleftharpoons{355°C} H_2SO_4 + 2NH_3\uparrow$

（正常情况下发生的反应）

$$3(NH_4)_2SO_4 \xlongequal{强热} 4NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O$$

$$(NH_4)_2SO_4 + 4O_2 = 2HNO_3 + H_2SO_4 + 2H_2O$$

（在土壤中硝化菌作用下产生此反应，使土壤变成酸性）

$$(NH_4)_2SO_4 + H_2O \rightleftharpoons NH_4HSO_4 + NH_3\cdot H_2O$$

或：$NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3\cdot H_2O + H^+$

$$(NH_4)_2SO_4 + 2NaCl \xlongequal{强热} Na_2SO_4 + 2HCl\uparrow + 2NH_3\uparrow$$

$$(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4\downarrow + (NH_4)_2CO_3$$

$$(NH_4)_2CO_3 \rightarrow 2NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

（碱性土壤对$(NH_4)_2SO_4$造成的损失）

$$2(NH_4)_2SO_4 + 6HCHO = (CH_2)_6N_4 + 2H_2SO_4 + 6H_2O$$

注：NH_4HSO_4加热不分解，在490℃时沸腾。

【NH_4HSO_3】 $6NH_4HSO_3 \xlongequal{加热150℃} 3(NH_4)_2SO_4 + H_2SO_4 + 2S + 2H_2O$

$$2NH_4HSO_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4 + 2SO_2\uparrow + 2H_2O$$

【$(NH_4)_2SO_3$】 $(NH_4)_2SO_3 + H_2SO_4(稀) = (NH_4)_2SO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

【$(NH_4)_2S_2O_8$】 $4(NH_4)_2S_2O_8(稀) + 3H_2O \xlongequal{20℃} 7(NH_4)HSO_4 + HNO_3 + H_2SO_4$

（此反应不放出O_2，而是生成N_2，且立即被氧化为HNO_3）

【NH_4NO_3】 $NH_4NO_3 \xlongequal[110℃]{低温} NH_3 + HNO_3$

$$2NH_4NO_3 \xlongequal{\triangle} 2NO + N_2 + 4H_2O$$

（低温下慢慢加热）

$$3NH_4NO_3 \xlongequal{\triangle} N_2O_3 + 2N_2 + 6H_2O$$

$$4NH_4NO_3 \xlongequal{\triangle} 2NO_2 + 3N_2 + 8H_2O$$

$$5NH_4NO_3 \xlongequal{190℃} 2HNO_3 + 4N_2 + 9H_2O$$

$NH_4NO_3 \xlongequal{190-200℃} N_2O\uparrow + 2H_2O$（慢慢加热）

$$2NH_4NO_3 \xlongequal[或撞击]{480℃-500℃} 2N_2 + O_2 + 4H_2O + 57千卡$$

（爆炸性的分解反应）

在上述NH_4NO_3受热分解反应中，因NH_4NO_3受热分解出来的NH_3被HNO_3氧化而生成氮或氮的氧化物。在反应中HNO_3有催化作用。所以NH_4NO_3的分解因温度不同而有不同的反应。

$$NH_4NO_3 + 2O_2 = 2HNO_3 + H_2O$$

（在土壤中硝化菌作用下发生的反应，使土壤变酸性）

$$NH_4NO_3 + H_2 = N_2 + 3H_2O$$

$$NH_4NO_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_3\cdot H_2O + HNO_3$$

即$NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3\cdot H_2O + H^+$（$NH_4NO_3$水解）

$$NH_4NO_3 + NaOH = NaNO_3 + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$NH_4NO_3 + NaNO_2 = NH_4NO_2 + NaNO_3$$

$$2NH_4NO_3 + K_2Cr_2O_7 = (NH_4)_2Cr_2O_7 + 2KNO_3$$

$$4NH_4NO_3 + 6HCHO = \underset{\text{(乌洛托品)}}{C_6H_{12}N_4} + 4HNO_3 + 6H_2O$$

【NH_4NO_2】 NH_4NO_2（固）$\overset{\triangle}{=} N_2\uparrow + 2H_2O$

（NH_4NO_2溶液加热后，产物也相同）

【$NH_4H_2PO_4$】 $NH_4H_2PO_4 + 12(NH_4)_2MoO_4 + 22HNO_3$（稀）

$$= 22NH_4NO_3 + (NH_4)_3(PO_4\cdot 12MoO_3)\cdot 2H_2O\downarrow + 10H_2O$$

$$2[(NH_4)_3(PO_4\cdot 12MoO_3)\cdot 2H_2O] + 46NaOH = (NH_4)_2MoO_4 + 23Na_2MoO_4 + 2(NH_4)_2HPO_4 + 26H_2O$$

【$(NH_4)_2HPO_4$】 $(NH_4)_2HPO_4 + 12(NH_4)_2MoO_4 + 23HNO_3$

$$= (NH_4)_3[PO_4\cdot 12MoO_3]\cdot H_2O + 23NH_4NO_3 + 11H_2O$$

$$(NH_4)_3PO_4\cdot 12MoO_3 + 23OH^- \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + 3NH_4^+ + 12MoO_4^- + 11H_2O$$

$$2[(NH_4)_3(PO_4\cdot 12MoO_3)\cdot H_2O] + 46NH_4OH = 2(NH_4)_2HPO_4 + 24(NH_4)_2MoO_4 + 24H_2O$$

$$2[(NH_4)_3(PO_4\cdot 12MoO_3)\cdot H_2O] \overset{\triangle}{=} \underset{\text{(蓝黑色)}}{24MoO_3\cdot P_2O_5} + 6NH_3 + 5H_2O$$

$$2(NH_4)_2HPO_4\text{(热)} + \underset{\text{(酸性溶液)}}{FeCl_3} = \underset{\text{(白色粉末)}}{NH_4H_2PO_4\cdot FePO_4}\downarrow + 3NH_4Cl$$

【$(NH_4)_3PO_4$】 $(NH_4)_3PO_4 \overset{\triangle}{=} 3NH_3\uparrow + H_3PO_4$

$$2(NH_4)_3PO_4 + 3Ca(OH)_2 = Ca_3(PO_4)_2 + 6NH_3\uparrow + 6H_2O$$

$$(NH_4)_3PO_4(\text{过量}) + Fe(NO_3)_2 + 2H_2O = Fe(NH_4)PO_4 \cdot 2H_2O + 2NH_4NO_3$$

【NH_4HCO_3】 $$NH_4HCO_3 \xlongequal{\text{加热}150℃} NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

（NH_4HCO_3 30℃即分解）

$$NH_4HCO_3 + NaCl = NaHCO_3\downarrow + NH_4Cl$$

（氨碱法制纯碱的反应式）

【$(NH_4)_2CO_3$】 $$(NH_4)_2CO_3 \xlongequal{\triangle} 2NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O = NH_4OH + NH_4HCO_3$$

$$NH_4HCO_3 \rightarrow NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$(NH_4)_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftharpoons 2NH_4HCO_3$$

$$(NH_4)_2CO_3 + 2NaOH = Na_2CO_3 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$(NH_4)_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$(NH_4)_2CO_3 + K_2CO_3 = 2KOH + 2NH_3\uparrow + 2CO_2\uparrow$$

（铵态氮肥不能跟草木灰混和使用的原因）

【NH_4CNO】 $$NH_4CNO(\text{固}) \xlongequal{\triangle} H_2NCONH_2$$

$$NH_4CNO(\text{溶液}) \xlongequal{\text{蒸发至干燥}} H_2NCONH_2$$

【$CO(NH_2)_2$】 $$CO(NH_2)_2 \xlongequal{\text{熔化}} H—N=C=O + NH_3\uparrow$$

$$2CO(NH_2)_2 \xlongequal{160℃} NH_2CONHCONH_2 + NH_3\uparrow$$

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \xlongequal{\text{脲酶}} (NH_4)_2CO_3$$

$$(NH_4)_2CO_3 + H_2O \xlongequal{\text{脲酶}} NH_4HCO_3 + NH_4OH$$

$$CO(NH_2)_2 + 2HNO_2 \xlongequal{\text{酸性溶液中}} CO_2\uparrow + 2N_2\uparrow + 3H_2O$$

$$CO(NH_2)_2 + HNO_3(\text{浓}) = CO(NH_2)_2 \cdot HNO_3$$

$$CO(NH_2)_2 + 2NaNO_2 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + CO_2 + 2N_2\uparrow + 3H_2O$$

【N_2O】 $2N_2O \xlongequal{高温} 2N_2 + O_2 + 39$千卡

【NO】 $2NO + H_2 = H_2O_2 + N_2\uparrow$（慢）

$H_2O_2 + H_2 = 2H_2O$（快）

总反应：$2NO + 2H_2 = N_2\uparrow + 2H_2O$

$NO + 5[H] = NH_3 + H_2O$

$4NO + F_2 = 2NO_2F + N_2$

$2NO + Cl_2 = 2NOCl$

（Br_2有相类似的反应发生）

$2NO + O_2 = 2NO_2 + 27$千卡

$NO + O_3 = NO_2 + O_2$

$6NO + 4P = P_4O_6 + 3N_2$

$NO + NO_2 \underset{液}{\overset{固}{\rightleftharpoons}} N_2O_3 + 10$千卡

$2NO + 2CO \xlongequal{催化剂} N_2 + 2CO_2$

（处理污染空气的反应）

$6NO + 4KOH(固) \xlongequal{\triangle} 4KNO_2 + N_2 + 2H_2O$

$NO + HCl(气) \xlongequal{低温下} NO\cdot HCl$

$4NO + 2HNO_3 = 3N_2O_3 + H_2O$

$2NO + HNO_3 + H_2O = 3HNO_2$

$2HNO_2 = N_2O_3 + H_2O$

$2NO + HNO_3 + 3H_2SO_4 = 3\left[\begin{matrix}HO\\ONO\end{matrix}\!\!>SO_2\right] + 2H_2O$

$5NO + 3MnO_4^- + 4H^+ = 3Mn^{2+} + 5NO_3^- + 2H_2O$

【N_2O_3】　$N_2O_3 \xrightleftharpoons{常温常压} NO_2 + NO - 10$千卡

$N_2O_3 + 2Hg + H_2SO_4 = Hg_2SO_4 + 2NO + H_2O$

$N_2O_3 + H_2O = 2HNO_2 + 13$千卡

$N_2O_3 + 2NaOH_{(液)} = 2NaNO_2 + H_2O$

$N_2O_3 + 2H_2SO_{4(浓)} = 2NOHSO_4 + H_2O$

$5N_2O_3 + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 = 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 10HNO_3 + H_2O$

$N_2O_3 + 2C_6H_4\langle^{SO_2OH}_{NH_2} + 2CH_3COOH =$

（对氨基苯磺酸）

$2C_6H_4\langle^{SO_2OH}_{N_2(CH_3COO)} + 3H_2O$

【NO_2】　$2NO_2 + O_3 = N_2O_5 + O_2 + 64$千卡

$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2$

注：（在有充足的氧气存在下，HNO_2全部转为HNO_3）

$4HNO_2 + 2O_2 = 4HNO_3$

总反应：$3NO_2 + H_2O \rightleftharpoons 2HNO_3 + NO\uparrow + 32.5$千卡

$NO_2 + NO + H_2O \xrightleftharpoons{冰水} 2HNO_2 \rightleftharpoons H_2O + N_2O_3$

$NO_2 + NO_2 \underset{分解}{\overset{聚合}{\rightleftharpoons}} N_2O_4 + 13.7$千卡

$NO_2 + NO + 2KOH = 2KNO_2 + H_2O$

$NO_2 + NO + 2NaOH = 2NaNO_2 + H_2O$

$NO_2 + NO + 2H_2SO_4 = 2H(NO)SO_4\downarrow + H_2O$

$2H(NO)SO_4 + SO_2 + 2H_2O = 3H_2SO_4 + 2NO$

$NO_2 + NO + Na_2CO_3 = 2NaNO_2 + CO_2$

$NO_2 + NO + 2Na_2CO_{3(不足)} + H_2O = 2NaHCO_3 + 2NaNO_2$

$$NO_2 + CO \xlongequal{} NO + CO_2 + 54.1千卡$$

$$2NO_2 + 2NaOH \xlongequal{无O_2条件下} NaNO_3 + NaNO_2 + H_2O$$

$$2NO_2 + 2KOH \xlongequal{无O_2条件下} KNO_3 + KNO_2 + H_2O$$

$$4NO_2 + H_2S \xlongequal{} 4NO + SO_3 + H_2O$$

$$2NO_2 + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{} NOHSO_4 + HNO_3$$

$$2NO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{} NaNO_3 + NaNO_2 + CO_2$$

$$2NO_2 + K_2CO_3 \xlongequal{} KNO_3 + KNO_2 + CO_2$$

$$10NO_2 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 2H_2O \xlongequal{} 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 10HNO_3$$

【N_2O_5】

$$2N_2O_{5(固)} + 5千卡 \xlongequal{} 2N_2O_4 + O_2$$

（白色）

（N_2O_5超过30℃时大量分解）

$$N_2O_5 + 19千卡 \xlongequal{} N_2O_3 + O_2$$

$$2N_2O_5 \xlongequal{30℃以上} 4NO_2 + O_2$$

$$N_2O_5 + NO \xlongequal{} 3NO_2$$

$$N_2O_5 + H_2O \xlongequal{} 2HNO_3 + 21千卡$$

$$N_2O_5 + 2H_2O_{2(纯)} \xlongequal{-80℃} 2HNO_4 + H_2O$$

（过硝酸）

【N_2O_4】

$$N_2O_4 \underset{}{\overset{0—140℃}{\rightleftharpoons}} 2NO_2 \underset{}{\overset{150—160℃}{\rightleftharpoons}} 2NO + O_2$$

（无色）　（红棕色）　（无色）

$$N_2O_4 + 2O_{3(液态)} \xlongequal{蒸发} 2NO_3 + 2O_2$$

（白色）

（NO_3过氧化氮，很不稳定）

$$2NO_3 + H_2O \xlongequal{} HNO_3 + HNO_2 + O_2$$

$$N_2O_4 + H_2O \xlongequal{} HNO_3 + HNO_2 + 14.13千卡$$

$$2N_2O_{4(液)} + 2H_2O + O_2 \xlongequal{加热加压} 4HNO_3$$

（得高浓度的硝酸）

注：所有氮的氧化物与红热铜作用均完全分解成CuO和N_2：

$$N_2O + Cu = CuO + N_2$$

$$2NO + 2Cu = 2CuO + N_2$$

$$N_2O_3 + 3Cu = 3CuO + N_2$$

$$2NO_2 + 4Cu = 4CuO + N_2$$

$$N_2O_5 + 5Cu = 5CuO + N_2$$

【HNO_2】　$$3HNO_2 \xlongequal{\triangle} HNO_3 + 2NO\uparrow + H_2O$$

（HNO_2加弱酸时也能分解）

$$2HNO_2 \rightleftharpoons N_2O_3 + H_2O$$

$$N_2O_3 \rightarrow NO_2 + NO$$

$$HNO_2 + Br_2 + H_2O = HNO_3 + 2HBr$$

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3 + 26\text{千卡}$$

（在土壤中硝化菌作用下产生的反应）

$$HNO_2 + NO_2 = HNO_3 + NO$$

$$HNO_2 + H_2SO_4(\text{浓}) = NOHSO_4 + H_2O$$

$$NOHSO_4 + H_2O = H_2SO_4 + HNO_2$$

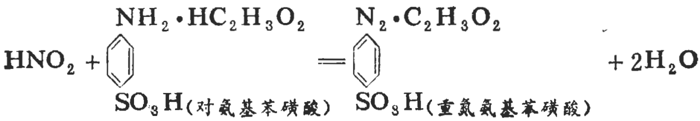
（亚硝基硫酸）

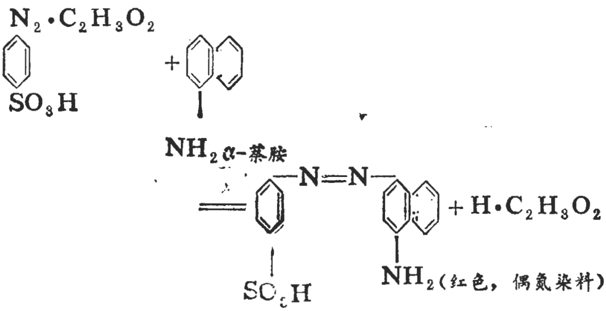
$$HNO_2 + HNO_3 = 2NO_2 + H_2O$$

$$HNO_2 + HOSO_2NH_2 = H_2SO_4 + N_2 + H_2O$$

$$HNO_2 + CS(NH_2)_2 \xlongequal{\text{加稀}CH_3COOH} HSCN + N_2 + 2H_2O$$

$$2HNO_2 + 2CS(NH_2)_2 \xlongequal{\text{加}HCl} 2NHCNSH_2 + 2NO + 2H_2O$$





【HNO_3】 $4HNO_3$(浓) + 62 千卡 $\xrightarrow[\text{或光照}]{\text{加热至沸点}}$ $4NO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2H_2O$

$HNO_3 + 8[H] = NH_3 + 3H_2O$

HNO_3(无水) $+ F_2 \xrightarrow{20℃} FNO_3 + HF$

（FNO_3易溶于水、易水解）

HNO_3(浓) $+ H_2O_2$(100%) $\rightleftharpoons HNO_4 + H_2O$

$HNO_3 + 2HClO_4$(纯) $\rightleftharpoons H_3^+O + NO_2^+ + 2ClO_4^-$

（这里的HNO_3相当于碱）

$HNO_3 + 2H_2SO_4$(纯) $\rightleftharpoons H_3O^+ + NO_2^+ + 2HSO_4^-$

（这里的HNO_3相当于碱）

HNO_3与$(C_6H_{10}O_5)_x$的一系列反应：

$3xHNO_3 + (C_6H_{10}O_5)_x = [C_6H_7O_2(ONO_2)_3]_x + 3xH_2O$

（纤维素）　（火药棉）

$3HNO_3 + C_6H_{10}O_5 = C_6H_7O_2(ONO_2)_3 + 3H_2O$

$2C_6H_7O_2(ONO_2)_3 = 3CO_2\uparrow + 9CO\uparrow + 3N_2\uparrow + 7H_2O$（爆炸反应）

或 $$2C_6H_7O_2(ONO_2)_3 = 6CO_2\uparrow + 6CO\uparrow + 3N_2\uparrow + 3H_2\uparrow + 4H_2O$$（爆炸反应）

$$4[C_6H_{10}O_2(ONO_2)_3]_x + 3xO_2 \xrightarrow{燃烧} 18xCO + 6xCO_2 + 6xN_2 + 20xH_2O$$

NO_3^-检验

$$2HNO_3 + HOC_6H_4SO_3H = HOC_6H_2(NO_2)_2SO_3H + 2H_2O$$

$$HOC_6H_2(NO_2)_2SO_3H + NH_4OH = \underset{(黄色)}{HOC_6H_2(NO_2)_2SO_3NH_4} + H_2O$$

$$HNO_3 + \underset{(硝酸灵试剂)}{C_{20}H_{16}N_4} = \underset{(白色)}{C_{20}H_{16}N_4\cdot HNO_3}\downarrow$$

（硝酸灵试剂是1,4-二苯基-3,5苯亚甲基—4,5-二氢化—1,2,4-三氮杂茂）

【$H_2N_2O_2$】（连二亚硝酸）　$$H_2N_2O_2 \xrightarrow{分解} N_2O + H_2O$$

$$H_2N_2O_2 + 2NH_2OH = 2N_2 + 4H_2O$$

【H_2NOH】

$$\begin{matrix} Ag_2O + H_2NOH \\ Ag_2O + H_2NOH \end{matrix} = \begin{matrix} NOH \\ \| \\ NOH \end{matrix} + 4Ag + 2H_2O$$

【$Ag_2N_2O_2$】　$$Ag_2N_2O_2 + 2HCl = 2AgCl + H_2N_2O_2$$

3.2　磷　$3s^2 3P^3$　P＝30.9738

【P】　$$白磷 \underset{加热到416℃急剧冷却}{\overset{密闭加热至260℃}{\rightleftharpoons}} 红磷 + 4千卡$$

$$\underset{(白磷)}{2P} + 3H_2 \overset{300℃以上}{\rightleftharpoons} 2PH_3\uparrow + 5千卡$$

（PH_3的产率不超过1%）

$$2P + 3X_2 = 2PX_3(\text{或}PX_5)$$

（X_2表示F_2、Cl_2、Br_2）

$$2P + 5X_2(\text{过量}) = 2PX_5$$

（X_2表示F_2、Cl_2、Br_2）

$$2P + 2O_2 = P_2O_3 + [O]$$

$$[O] + O_2 = O_3$$

$$4P + 5O_2 = 2P_2O_5 + 740\text{千卡}$$

（若O_2不足时，则生成P_2O_3，若O_2过量时，则生成P_4O_{10}）

$$4P + 3O_2 + 6H_2O = 4H_3PO_3$$

（P在潮湿空气中的氧化反应）

$$4P + 4O_2 + 4H_2O = 2H_4P_2O_6$$

$$P_4 + 5O_2 + 6H_2O = 4H_3PO_4$$

注：P与S的反应，随反应时P和S相对量的不同，其产物可能有P_4S_3、P_4S_7、P_4S_{10}、P_4S_5等。

P与N_2不能直接化合，只能通过间接方法获得PN、P_3N_5、P_4N_6。

$$2P + 5SO_3 = P_2O_5 + 5SO_2$$

$$\underset{(\text{白})}{4P_{(\text{固})}} + 3NaOH + 3H_2O \xrightarrow{\triangle} 3NaH_2PO_2 + PH_3\uparrow$$

（此反应在酒精溶液内进行的，反应结果也有可能生成Na_2HPO_2和PH_3、少量P_2H_4）

$$\underset{(\text{白})}{4P_{(\text{固})}} + 3OH^- + 3H_2O = 3H_2PO_2^- + PH_3\uparrow$$

（红磷不能发生此反应）

$$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{煮沸}} 3Ba(H_2PO_2)_2 + 2PH_3\uparrow$$

$$6P + 5HClO_3 + 9H_2O = 6H_3PO_4 + 5HCl$$

$$\underset{(\text{白})}{3P} + 5HNO_{3(\text{浓})} + 2H_2O = 3H_3PO_4 + 5NO\uparrow$$

（磷酸的制法之一）

注：P与非氧化性的酸不发生反应。

【PH_3】 $2PH_3+4O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} P_2O_5+3H_2O$

PH_3+2O_2(空气) $\xrightarrow{\text{燃烧}} H_3PO_4$(雾状)

(PH_3的着火点为150℃)

$2PH_3+2Na = 2NaPH_2+H_2$

(用Na的液态氨溶液与PH_3反应)

$NaPH_2+H_2O = PH_3+NaOH$

PH_3+HI(气) $= PH_4I$(固)

$PH_4I+KOH \xrightarrow{\text{煮沸}} PH_3\uparrow+KI+H_2O$

$PH_3+4NaOCl = H_3PO_4+4NaCl$

(去掉乙炔中的PH_3用此反应)

$PH_3+6AgNO_3$(浓) $= PAg_3\cdot3AgNO_3\downarrow+3HNO_3$

(黄色)

$PAg_3\cdot3AgNO_3+3H_2O = 3HNO_3+H_3PO_3+6Ag$

【P_2H_4】(联膦) $3P_2H_4 = 4PH_3+2P$

(见光即发生此反应，P_2H_4在空气中能自燃)

【PH_4Cl】 $PH_4Cl+H_2O = PH_3+HCl+H_2O$

【P_2O_3】 $P_2O_3+3H_2O$(冷) $= 2H_3PO_3$

$2P_2O_3+6H_2O$(热) $= 3H_3PO_4+PH_3$

【P_4O_6】 $2P_4O_6 \xrightarrow{210℃} 3P_2O_4+2P$

$P_2O_4+3H_2O = P(OH)_3+H_3PO_4$

$P_4O_6+6H_2O$(冷) $= 4H_3PO_3$

$P_4O_6+6H_2O$(热) $= 3H_3PO_4+PH_3$

P_4O_6+6HCl(气) $= 2H_3PO_3+2PCl_3$

【P_2O_5】 $2P_2O_5+O_2 \xrightarrow{\text{放电}} 2P_2O_6$

(过氧化磷，紫色)

$$P_2O_6+2H_2O = [(HO)_2OP-O-O-PO(OH)_2]$$
（过二磷酸）

$$P_2O_5+H_2O(冷) = 2HPO_3$$

$$HPO_3+H_2O \xlongequal{煮沸} H_3PO_4$$

$$P_2O_5+2H_2O(热) = H_4P_2O_7(焦磷酸)$$

$$P_2O_5+3H_2O(热) \xlongequal{煮沸} 2H_3PO_4(正磷酸)$$

$$3P_2O_5+5H_2O = 2H_5P_3O_{10}$$
（三磷酸）

$$P_2O_5+3CaO \xlongequal{\triangle} Ca_3(PO_4)_2$$
（炼钢炉内所发生的反应）

$$P_2O_5+3Na_2O = 2Na_3PO_4$$

$$P_2O_5+6NaOH = 2Na_3PO_4+3H_2O$$

$$P_2O_5+3Ca(OH)_2 = Ca_3(PO_4)_2+3H_2O$$

$$P_2O_5+2HClO_4 = 2HPO_3+Cl_2O_7$$

$$P_2O_5+3H_2SO_4(浓) = 2H_3PO_4+3SO_3\uparrow$$

$$P_2O_5+H_2SO_4(浓) \xlongequal{\triangle} 2HPO_3+SO_3$$

$$P_2O_5+6HNO_3(浓) \xlongequal{\triangle} 3N_2O_5+2H_3PO_4$$

$$P_2O_5+2HNO_3(很浓) = 2HPO_3+N_2O_5$$

【P_4O_{10}】 $P_4O_{10}+6H_2O(足量) = 4H_3PO_4$

$$3P_4O_{10}+10H_2O = 4H_5P_3O_{10}$$
（三聚磷酸）

$$xP_4O_{10}+2xH_2O(适量) = 4(HPO_3)_x$$

$$P_4O_{10}+4H_2O_2+2H_2O = 4H_3PO_5$$
（过磷酸）

$$P_4O_{10}+6PX_5 = 10POX_3$$
（X表示F、Cl、Br、I）

$$P_4O_{10} + 6H_2SO_4 = 4H_3PO_4 + 6SO_3$$

$$P_4O_{10} + 12HNO_3 = 4H_3PO_4 + 6N_2O_5$$

【P_2O_4】 $P_2O_4 + 3H_2O = P(OH)_3 + H_3PO_4$

【H_3PO_2】(次磷酸)

$$4H_3PO_2 \xlongequal{\text{灼烧}} 2H_3PO_4 + 2PH_3$$

$$H_3PO_2 + 2Zn + 2H_2SO_{4(\text{稀})} = 2ZnSO_4 + PH_3\uparrow + 2H_2O$$

【$H_2PO_2^-$】 $H_2PO_2^- + 2OH^-_{(\text{浓})} \xlongequal{\text{共沸}} PO_4^{3-} + 2H_2\uparrow$

$$2H_2PO^-_{2(\text{盐})} + 2Ag^+ + 4H_2O = 2H_3PO_4 + 2Ag\downarrow + 3H_2\uparrow$$

$$H_2PO_2^- + 4Ag^+ + 2H_2O = H_3PO_4 + 4Ag\downarrow + 3H^+$$

【H_3PO_3】 $4H_3PO_{3(\text{干})} \xlongequal{\triangle} 3H_3PO_4 + PH_3\uparrow$

$$H_3PO_3 + 3Zn + 6H^+ = PH_3\uparrow + 3Zn^{2+} + 3H_2O$$

$$H_3PO_3 + 3NaOH = Na_3PO_3 + 3H_2O$$

$$H_3PO_3 + NH_4OH_{(\text{浓})} = NH_4H_2PO_3 + H_2O$$

$$3H_3PO_3 + H_2SO_3 = 3H_3PO_4 + H_2S\uparrow$$

$$H_3PO_3 + H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\triangle} H_3PO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$$

$$3H_3PO_3 + 2HNO_3 = 3H_3PO_4 + 2NO + H_2O$$

$$H_3PO_3 + 2HgCl_2 + H_2O \xlongequal{\text{冷}} H_3PO_4 + 2HCl + Hg_2Cl_2$$

$$H_3PO_{3(\text{过量})} + Hg_2Cl_2 + H_2O \xlongequal{\triangle} H_3PO_4 + 2HCl + 2Hg\downarrow$$

$$H_3PO_3 + Hg_2(NO_3)_2 + H_2O \xlongequal{\triangle} H_3PO_4 + 2HNO_3 + 2Hg\downarrow$$

$$5H_3PO_3 + 2KMnO_4 + 6HNO_3 = 5H_3PO_4 + 2Mn(NO_3)_2 + 2KNO_3 + 3H_2O$$

$$3H_3PO_3 + 2KMnO_4 + 2HNO_3(\text{不足}) = 3H_3PO_4 + 2KNO_3 + 2MnO_2 + H_2O$$

【$H_4P_2O_6$】 $P_4 + 4O_2 + 4H_2O = 2H_4P_2O_6$

$$H_4P_2O_6 + H_2O = H_3PO_4 + H_3PO_3$$

（在水中歧化）

【HPO_3】 $HPO_3 + H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} H_3PO_4$

【H_3PO_4】 $2H_3PO_4 \xlongequal{250℃} H_4P_2O_7 + H_2O$

$$xH_3PO_4 \xlongequal{400℃\text{以上}} (HPO_3)_x + xH_2O$$

$$H_3PO_4 + 2KOH \xlongequal{pH=8.5} K_2HPO_4 + 2H_2O$$

$$2H_3PO_4 + 4KOH = K_4P_2O_7 + 5H_2O$$

$$2H_3PO_4 + KOH = KH_2PO_4 \cdot H_3PO_4 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + KOH = KH_2PO_4 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + 3KOH = K_3PO_4 + 3H_2O$$

$$2H_3PO_4 + Ca(OH)_2(\text{适量}) = Ca(H_2PO_4)_2 + 2H_2O$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(OH)_2(\text{过量}) = 2CaHPO_4 + 2H_2O$$

$$H_3PO_4 + NH_4OH = NH_4H_2PO_4 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + 2NH_4OH = (NH_4)_2HPO_4 + 2H_2O$$

$$H_3PO_4 + 3NH_4OH = (NH_4)_3PO_4 + 3H_2O$$

$$H_3PO_4 + HF \rightleftharpoons H_2PO_3F + H_2O$$

$$H_3PO_4 + HClO_4(\text{过量}) \xlongequal{\text{冷却}} H_3PO_4 \cdot HClO_4$$

$$H_3PO_4 + Na_2CO_3 = Na_2HPO_4 + CO_2 + H_2O$$

$$H_3PO_4 + 2Na_2CO_3 = 2NaHCO_3 + Na_2HPO_4$$

$$3H_3PO_4 + 2NaHCO_3 + Na_2HPO_4 = 4NaH_2PO_4 + 2CO_2 + 2H_2O$$

$$2H_3PO_4 + Pb(CH_3COO)_2 + 2NaOH = Pb(PO_3)_2\downarrow + 2CH_3COONa + 4H_2O$$

$$H_3PO_4 + 12(NH_4)_2MoO_4 + 21HNO_{3(稀)} + 2H_2O = \underset{(蓝色)}{(NH_4)_3[PO_4\cdot 12MoO_3]\cdot 2H_2O\downarrow} + 21NH_4NO_3 + 12H_2O$$

$$H_3PO_4 + 12H_2MoO_4 = \underset{(磷钼酸)}{H_3[P(Mo_3O_{10})_4]} + 12H_2O$$

$$H_3[P(Mo_3O_{10})_4] + 8HCl + 4SnCl_2 = 4SnCl_4 + \underset{(磷钼蓝)}{[2MoO_2\cdot 4MoO_3]_2\cdot H_3PO_4} + 4H_2O$$

$$H_3PO_4 + 12(NH_4)_2MoO_4 + 23HNO_3 = 21NH_4NO_3 + \underset{(磷钼酸铵，黄色)}{(NH_4)_3PO_4\cdot 12MoO_3\cdot 2HNO_3\cdot 2H_2O\downarrow} + 10H_2O$$

$$H_3PO_4 + 3C_9H_7N + 12(NH_4)_2MoO_4 + 24HNO_3 = 24NH_4NO_3 + \underset{(磷钼酸喹啉)}{(C_9H_7N)_3\cdot H_3PO_4\cdot 12MoO_3\downarrow} + 12H_2O$$

【$H_4P_2O_7$】　$H_4P_2O_7 + H_2O_{(热)} = 2H_3PO_4$

$$H_4P_2O_7 + 4AgNO_3 = \underset{(白色)}{Ag_4P_2O_7\downarrow} + 4HNO_3$$

【PX_3】(X表示卤素)　$PX_3 + X_2 = PX_5$(X_2过量)

$$2PF_3 + O_{2(空气)} \xrightarrow{电火花} 2POF_3$$

一般式：　$2PX_3 + O_2 = 2POX_3$

(X为F、Cl、Br。POI_3未能制出)

$$POCl_3 + 4NH_{3(液态)} = 3NH_4Cl + PON$$

$$PBr_3 + S = PSBr_3$$

一般式：$PX_3 + S = PSX_3$

$$PBr_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HBr$$

$PCl_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HCl$（反应剧烈）

一般式：$PX_3 + 3H_2O = H_3PO_3 + 3HX$

PCl_3（液体）$+ AsF_3$（液体）$= PF_3\uparrow + AsCl_3$（液体）

（PF_3是无色气态，PCl_3是无色液态，PBr_3是无色液态，PI_3是红色晶体）

【PX_5】 $2PCl_5 \xrightleftharpoons{300℃} 2PCl_3 + 2Cl_2$

$PCl_5 + 5Br_2 = PCl_5 \cdot Br_{10}$（加合反应）

$PX_5 + 4H_2O = H_3PO_4 + 5HX$（过量的水）

$PX_5 + H_2O = POX_3 + 2HX\uparrow$（适量的水）

$$POX_3 + 3H_2O = H_3PO_4 + 3HX$$

$$PCl_5 + SO_2 = POCl_3 + SOCl_2$$

$$3PCl_5 + P_2O_5 = 5POCl_3$$

$PCl_5 + xNH_3 = PCl_5 \cdot xNH_3$（加合反应）

$PCl_5 + H_2SO_4$（发烟）$= SO_2(OH)Cl + POCl_3 + HCl$

$$SO_2(OH)Cl + H_2O = H_2SO_4 + HCl$$

$$nPCl_5 + nNH_4Cl \xrightarrow{\text{加热，高压}} 4nHCl + (NPCl_2)_n$$

$$2PCl_5 + CaSO_3 = 2POCl_3 + SOCl_2 + CaCl_2$$

【PF_3Cl_2】 $5PF_3Cl_2 \xlongequal{200℃} 3PF_5 + 2PCl_5$

【PF_3Br_2】 $5PF_3Br_2 \xlongequal{15℃} 3PF_5 + 2PBr_5$

3.3 砷 $4s^24p^3$ As = 74.9216

【As】 $2As + 3Cl_2 = 2AsCl_3$

$$As_4 + 10Cl_2 + 16H_2O = 4H_3AsO_4 + 20HCl$$

（Br_2亦可以发生类似的反应）

$$2As + 5I_2 + 8H_2O = 2H_3AsO_4 + 10H^+ + 10I^-$$

$$4As + 3O_2\text{（空气）} \xlongequal{\text{燃烧}} 2As_2O_3$$

As与热浓HCl反应分二步：

$$As_4 + 6H_2O \xlongequal{\triangle} 2As_2O_3 + 6H_2\uparrow$$

$$As_2O_3 + 6HCl\text{（浓）} \xlongequal{\triangle} 2AsCl_3 + 3H_2O$$

As与冷稀H_2SO_4无反应。

$$As_4 + 6H_2SO_4\text{（热浓）} = 2As_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 6H_2O$$

$$As_4 + 4HNO_3\text{（稀）} + 4H_2O = 4H_3AsO_3 + 4NO\uparrow$$

$$3As_4 + 20HNO_3\text{（浓）} + 8H_2O = 12H_3AsO_4 + 20NO$$

$$3As + 5HNO_3 + 2H_2O = 3H_3AsO_4 + 5NO$$

$$As_4 + 10NaClO + 6H_2O = 4H_3AsO_4 + 10NaCl$$

【AsH_3】（胂） $$4AsH_3 \xlongequal[\text{无}O_2\text{条件下}]{\triangle} As_4 + 6H_2\uparrow$$

$$AsH_3 + 4X_2 + 4H_2O = H_3AsO_4 + 8HX$$

（X_2表示Cl_2、Br_2、I_2）

$$2AsH_3 + 3O_2 \xlongequal{\text{室温自然}} As_2O_3 + 3H_2O$$

$$AsH_3 + 2O_2 = H_3AsO_4\text{（最终氧化物）}$$

$$AsH_3 + 3KOH = \underset{\text{（固体）}}{K_3As}\downarrow + 3H_2O$$

$$2K_3As + 6H_2O = \underset{\text{（固体）}}{As_2H_2}\downarrow + 6KOH + 2H_2\uparrow$$

$$2AsH_3 + 6KOH\text{（热、干燥）} = 2K_3AsO_3 + 6H_2\uparrow$$

$$5AsH_3 + 8HBrO_3 = 5H_3AsO_4 + 4Br_2 + 4H_2O$$

（HIO_3也有类似的反应）

$$AsH_3 + 4HIO_4\text{（过量）} = H_3AsO_4 + 4HIO_3$$

$$AsH_3 + 8HNO_3 = H_3AsO_4 + 8NO_2 + 4H_2O$$

$$AsH_3 + 3HgCl_2 = As(HgCl)_3 + 3HCl$$

$$AsH_3 + 4NaClO = H_3AsO_4 + 4NaCl$$

（NaBrO也有类似的反应）

$$2AsH_3 + 3KBrO_3 = 2KH_2AsO_4 + KBr + Br_2 + H_2O$$

（KIO_3也有类似的反应）

$$AsH_3 + 4KIO_4 = H_3AsO_4 + 4KIO_3$$

$$2AsH_3 + 3CuSO_4 = Cu_3As_2\downarrow + 3H_2SO_4$$

$$2AsH_3 + 3CuSO_4 \xlongequal{\text{无}O_2\text{时}} Cu_3As + 3H_2SO_4 + As$$

$$AsH_3 + 6AgNO_3 + 3H_2O = H_3AsO_3 + 6HNO_3 + 6Ag\downarrow$$

$$AsH_3 + 8AgNO_3\text{(氨性液)} + 4H_2O = H_3AsO_4 + 8HNO_3 + 8Ag\downarrow$$

$$AsH_3 + 3AgNO_3 \xlongequal[AgNO_3\text{逐滴滴入}]{\text{无}O_2\cdot 1\text{大气压}} Ag_3As + 3HNO_3$$

在稀的氨性硝酸银溶液中：

$$AsH_3 + 3AgNH_3NO_3 = Ag_3As + 3NH_4NO_3$$

$$Ag_3As + 3AgNH_3NO_3 + NH_3 + 2H_2O = NH_4AsO_2 + 3NH_4NO_3 + 6Ag\downarrow\text{(黑色)}$$

$$NH_4AsO_2 + 2AgNH_3NO_3 + 2NH_4OH = (NH_4)_3AsO_4 + 2NH_4NO_3 + 2Ag\downarrow\text{(黑色)}$$

$$AsH_3 + 6AgNO_3\text{(浓液)} = Ag_3As\cdot 3AgNO_3\text{(黄色)} + 3HNO_3$$

$$Ag_3As\cdot 3AgNO_3 + 3H_2O = H_3AsO_3 + 3HNO_3 + 6Ag\downarrow\text{(黑色)}$$

$$AsH_3 + 6Ag^+ + 3H_2O = H_3AsO_3 + 6Ag\downarrow + 6H^+$$

（黑色）

$$AsH_3 + 2KMnO_4 = K_2HAsO_4 + Mn_2O_3 + H_2O$$

$$AsH_3 + 2As(HgCl)_3 = 3AsH(HgCl)_2$$

$$AsH_3 + As(HgCl)_3 = As_2Hg_3 + 3HCl$$

【As_2O_3】　**注**：As_2O_3具有两性，但偏酸性。

$$As_2O_3 + 3H_2 \xlongequal{\triangle} 2As + 3H_2O$$

$$As_2O_3 + 6Zn + 6H_2SO_{4(稀)} = 6ZnSO_4 + 2AsH_3\uparrow + 3H_2O$$

（初生态的氢使As还原的反应）

$$As_2O_{3(新鲜的)} + 12[H] = 2AsH_3 + 3H_2O$$

$$As_2O_3 + 2Cl_2 + 2H_2O \xlongequal{\triangle} As_2O_5 + 4HCl$$

$$As_2O_3 + 3C \xlongequal{\triangle} 2As + 3CO\uparrow$$

$$3As_2O_3 + 9H_2O \xlongequal{煮沸} 3H_3AsO_4 + 2H_3AsO_3 + AsH_3$$

$$As_2O_3 + 3H_2O = 2As(OH)_3（或H_3AsO_3）$$

$$As_2O_3 + K_2O = 2KAsO_2$$

$$As_2O_3 + 6NaOH = 2Na_3AsO_3 + 3H_2O$$

$$2As_2O_3 + 2NaOH + H_2O = Na_2O\cdot(As_2O_3)_2\cdot 2H_2O$$

$$As_2O_3 + 2NaOH + H_2O = Na_2O\cdot As_2O_3\cdot 2H_2O$$

$$As_2O_3 + 6NaOH + 2Ag_2O = 2Na_3AsO_4 + 4Ag\downarrow + 3H_2O$$

$$As_2O_3 + 3Ca(OH)_2 \xlongequal[共振]{25℃} Ca_3(AsO_3)_2 + 3H_2O$$

$$As_2O_3 + 2Ca(OH)_2 = 2Ca(OH)AsO_2 + H_2O$$

$$As_2O_3 + 2Ba(OH)_2 + H_2O = 2[Ba(OH)AsO_2]\cdot 2H_2O\downarrow$$

$$3As_2O_3 + 2Ba(OH)_2 + 2H_2O \xlongequal{25℃} (BaO)_2 \cdot (As_2O_3)_3 \cdot 4H_2O$$

$$As_2O_3 + 6HCl(干燥) \xlongequal{200℃} 2AsCl_3 + 3H_2O$$

（HBr也可以发生类似的反应）

$$As_2O_3 + 6HCl(浓) = 2AsCl_3 + 3H_2O(难以发生)$$

$$As_2O_3(盐酸溶液) + 3H_2S(气) = As_2S_3\downarrow + 3H_2O$$

$$3As_2O_3 + 2HBrO_3 = 3As_2O_5 + 2HBr$$

$$3As_2O_3 + 2HIO_3 + 9H_2O = 6H_3AsO_4 + 2HI$$

$$As_2O_3 + 2H_2SO_4(浓) = As_2O_3 \cdot 2SO_3(复盐) + 2H_2O$$

$$As_2O_3 + 4HNO_3(浓) = 2HAsO_3 + 4NO_2\uparrow + H_2O$$

$$3As_2O_3 + 4HNO_3(浓) + 7H_2O = 6H_3AsO_4 + 4NO\uparrow$$

（制取砷酸所发生的反应）

$$As_2O_3 + 2HNO_3 + 2H_2O = 2H_3AsO_4 + NO_2\uparrow + NO\uparrow$$

$$5As_2O_3(冷) + 6HMnO_4 \xlongequal[酸性溶液中]{Ag^+盐溶液} Mn_6As_{10}O_{36} + 3H_2O$$

$$Mn_6As_{10}O_{36} = 5MnAs_2O_7 + MnO$$

$$+)\quad 5MnAs_2O_7 + MnO = 5As_2O_5 + Mn_6O_{11}$$

$$5As_2O_3(冷) + 6HMnO_4 \xlongequal[酸性溶液中]{Ag^+盐溶液} 5As_2O_5 + Mn_6O_{11} + 3H_2O$$

$$As_2O_3 + 6NH_4Cl \xlongequal{\triangle} 6NH_3\uparrow + 2AsCl_3 + 3H_2O$$

$$3As_2O_3 + 9ZnCl_2 + 18NaOH = 3Zn_3(AsO_3)_2 + 18NaCl + 9H_2O$$

$$3As_2O_3 + 4CuCl_2 + 8CH_3COONa + 3H_2O = 6CH_3COOH + Cu_4(AsO_2)_6 \cdot (CH_3COO)_2 + 8NaCl$$

$$3As_2O_3 + 2KBrO_3 + 2HCl = 2KCl + 2HBr + 3As_2O_5$$

$$As_2O_3 + CaSO_4 + 2H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} \underset{\text{(结晶)}}{CaO \cdot As_2O_3 \cdot 3SO_3} + 2H_2O$$

$$As_2O_3 + ZnSO_4 + 2NaOH = Zn(AsO_2)_2 + H_2O + Na_2SO_4$$

$$2As_2O_3 + K_2CO_3\text{(少量、热的、浓液)} + H_2O = 2KH(AsO_2)_2 + CO_2\uparrow$$

$$5As_2O_3 + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 = 2K_2SO_4 + 5As_2O_5 + 4MnSO_4 + 6H_2O$$

$$3As_2O_3 + 4KMnO_4 + 2H_2O = 3As_2O_5 + 4KOH + 4MnO_2$$

$$3As_2O_3 + 2K_2Cr_2O_7 + 4HCl = 3As_2O_5 + 4KCl + 2Cr_2O_3 + 2H_2O$$

$$As_2O_3 + 4CH_3COONa \xlongequal{\triangle} 2Na_2CO_3 + (CH_3)_2As{-}O{-}As(CH_3)_2 + 2CO_2\uparrow$$

【As_4O_6】　$As_4O_6 \xlongequal{\text{高温}} 2As_2O_3$

$$As_4O_6 + 6C \xlongequal{\triangle} 6CO\uparrow + As_4\uparrow$$

$$As_4O_6 + 12Zn + 24H^+ = 4AsH_3\uparrow + 12Zn^{2+} + 6H_2O$$

【As_2O_5】　$As_2O_5 + 3H_2O = 2H_3AsO_4$

$$As_2O_5 + 6KOH = 2K_3AsO_4 + 3H_2O$$

$$As_2O_5 + 10HCl\text{(过量)} = 2AsCl_5 + 5H_2O$$

$$As_2O_5 + 10HCl = 2AsCl_3 + 2Cl_2 + 5H_2O$$

$$As_2O_5 + 4HI \xlongequal[\text{冷却}]{\text{加}HCl} As_2O_3 + 2I_2 + 2H_2O$$

$$As_2O_5 + 2H_2S = As_2O_3\downarrow + 2S\downarrow + 2H_2O$$

$$As_2O_5 + 2H_2S \xlongequal{加HCl酸化} As_2O_3 + 2H_2O + 2S$$

$$As_2O_3 + 3H_2S \xlongequal{加HCl酸化} As_2S_3 + 3H_2O$$

$$As_2O_5 + 5H_2S \xlongequal{加HCl酸化} As_2S_5 + 5H_2O$$

$$As_2O_5 + 6(NH_4)_2MoO_4 + 10HNO_3 = 10NH_4NO_3 + (MoO_3)_6\cdot As_2O_5\cdot (NH_4)_2O + 5H_2O$$

【$As(OH)_3$或H_3AsO_3】 $2H_3AsO_3 \xlongequal{\triangle} As_2O_3 + 3H_2O$

$$H_3AsO_3 \rightleftharpoons HAsO_2 + H_2O$$

$$3H^+ + AsO_3^{3-} \rightleftharpoons As(OH)_3 \rightleftharpoons As^{3+} + 3OH^-$$

$$H_3AsO_3 + I_2 + H_2O = H_3AsO_4 + 2HI$$

$$As(OH)_3 + NaOH = NaH_2AsO_3 + H_2O$$

$$H_3AsO_3 + 3NH_4OH(浓) = (NH_4)_3AsO_3 + 3H_2O$$

$$2H_3AsO_3 + 8Fe(OH)_3 = (Fe_2O_3)_4\cdot As_2O_3\cdot 5H_2O + 10H_2O$$

$$As(OH)_3 + 3HCl \rightleftharpoons AsCl_3 + 3H_2O$$

（HCl浓度愈大，则反应将向右进行）

$$2H_3AsO_3 + 3H_2S \xlongequal{酸性溶液} \underset{(淡黄色)}{As_2S_3\downarrow} + 6H_2O$$

$$3H_3AsO_3 + 2HNO_3(浓) = 3H_3AsO_4 + 2NO\uparrow + H_2O$$

$$6H_3AsO_3 + 5KI + KIO_3 = 6KH_2AsO_3 + 3I_2 + 3H_2O$$

$$H_3AsO_3 + 2FeCl_3 + H_2O = 2FeCl_2 + H_3AsO_4 + 2HCl$$

$$H_3AsO_3 + 3HgCl + 3HCl(浓) = 3HgCl_2 + As\downarrow + 3H_2O$$

$$H_3AsO_3 + KIO = H_3AsO_4 + KI$$

$$H_3AsO_3 + CuSO_4 + 2NH_4OH = H_3AsO_4 + (NH_4)_2SO_4 + Cu + H_2O$$

$$H_3AsO_3 + 2NaNO_3 + Na_2CO_3 + 14H_2O \xlongequal{红热} Na_3AsO_4 \cdot 15H_2O + NaHCO_3 + 2NO_2\uparrow$$

$$H_3AsO_3 + AgNO_3 \xlongequal{氨性溶液} H_3AsO_4 + Ag\downarrow + NO_2\uparrow$$

$$H_3AsO_3(过量) + 3AgNO_3 \xlongequal{\quad} \underset{(黄色)}{Ag_3AsO_3\downarrow} + 3HNO_3$$

$$3H_3AsO_3 + 2KMnO_4 \xlongequal{酸性或碱性中} H_3AsO_4 + 2KH_2AsO_4 + 2MnO_2 + H_2O$$

$$3H_3AsO_3 + 2KMnO_4 \xlongequal{中性} 3H_3AsO_4 + 2MnO_2 + K_2O$$

【H_3AsO_4】(砷酸)　$2H_3ASO_4 \xlongequal{加热} As_2O_5 + 3H_2O$

$$2H_3AsO_4 \xlongequal{与H_2SO_4蒸发至发烟} As_2O_5 + 3H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 5[H] \xlongequal{\quad} As + 4H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 8[H] \xlongequal{锌铜电偶存在} AsH_3 + 4H_2O$$

$$H_3AsO_4 + KOH \xlongequal{\quad} KH_2AsO_4 + H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 2KOH \xlongequal{\quad} K_2HAsO_4 + 2H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 3KOH(过量) \xlongequal{\quad} K_3AsO_4 + 3H_2O$$

$$2H_3AsO_4 + 3Ca(OH)_2 \xlongequal{\quad} Ca_3(AsO_4)_2 + 6H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 3NH_2OH \xlongequal{\quad} \underset{(羽状样结晶)}{H_3AsO_4 \cdot 3NH_2OH\downarrow}$$

(砷酸液与碳酸钠作用后加羟胺后呈碱性)

$$H_3AsO_4 + 5HBr \xlongequal{\quad} AsBr_3 + Br_2 + 4H_2O$$

在H_3AsO_4溶液中通入过量的H_2S发生一系列的反应:

$$H_3AsO_4 + H_2S \xlongequal{\quad} H_3AsO_3S + H_2O$$

$$H_3AsO_3S + H_2S \xlongequal{\quad} H_3AsO_2S_2 + H_2O$$

$$H_3AsO_2S_2 + H_2S \xlongequal{\quad} H_3AsOS_3 + H_2O$$

$$H_3AsOS_3 + H_2S = H_3AsS_4 + H_2O$$

$$2H_3AsS_4 = As_2S_5 + 3H_2S$$

或 $2H_3AsO_4 + 5H_2S(气) = As_2S_5 + 8H_2O$

若慢慢通入H_2S，且不过量则有：

$$H_3AsO_4 + H_2S = H_3AsO_3S + H_2O$$

$$2H_3AsO_3S + 3H_2S = As_2S_5 + 6H_2O$$

$$2H_3AsO_3S = 2H_3AsO_3 + 2S$$

$$6H_3AsO_2S_2 = As_2S_5 + As_2S_3 + 4S + 2H_3AsO_3 + 6H_2O$$

$$H_3AsO_4 + H_2S \xrightarrow{加HCl} H_3AsO_3S + H_2O$$

$$2H_3AsO_3S + 6HCl = 2AsCl_3 + 2S + 6H_2O$$

$$2AsCl_3 + 3H_2S = As_2S_3 + 6HCl$$

$$2H_3AsO_4(冷) + 5H_2S(气) \xrightarrow{弱酸性} As_2S_3 + 2S + 8H_2O$$

$$H_3AsO_4 + H_2SO_3 = H_3AsO_3 + H_2SO_4$$

$$2H_3AsO_4 + 7H_2MoO_4 + 4H_2O \xrightarrow{加热浓缩} H_6As_2Mo_7O_{29}\cdot 11H_2O$$

$$2H_3AsO_4 + 7H_2MoO_4 + 2NH_3(液氨) \xrightarrow{煮沸} H_6As_2Mo_7O_{29}\cdot 2NH_3 + 7H_2O$$

$$2H_3AsO_4 + 7H_2MoO_4 + 2NH_4Cl \xrightarrow{长期煮沸} \underset{(结晶状)}{H_6As_2Mo_7O_{29}\cdot(NH_3)_2\cdot 4H_2O}\downarrow + 2HCl + 3H_2O$$

$$H_3AsO_4 + MgCl_2 + 3NH_3\cdot H_2O = \underset{(砷酸铵镁)}{MgNH_4AsO_4} + 2NH_4Cl + 3H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 2FeCl_2 + 5HCl(浓) = AsCl_3\uparrow + 2FeCl_3 + 4H_2O$$

$$2H_3AsO_4 + 5SnCl_2 + 10HCl \xlongequal{高价汞催化} 5SnCl_4 + 2As + 8H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 2KI + H_2SO_4 = H_3AsO_3 + K_2SO_4 + H_2O + I_2$$

$$2H_3AsO_4 + 4KI + 4HCl = 4KCl + As_2O_3 + 2I_2 + 5H_2O$$

$$6H_3AsO_4 + KIO_3 + 5KI = 6KH_2AsO_4 + HIO_3 + 5HI$$

$$HIO_3 + 5HI = 3I_2 + 3H_2O$$

$$H_3AsO_4 + 12(NH_4)_2MoO_4 + 21HNO_3 = (NH_4)_3AsO_4\cdot 12MoO_3 + 21NH_4NO_3 + 12H_2O$$

【$KH(AsO_2)_2$】 $2KH(AsO_2)_2 + 2FeCl_3 + H_2O = 2FeAsO_3\downarrow$（黄色）$+ 2KCl + As_2O_3 + 4HCl$

$$2KH(AsO_2)_2 + 3SnCl_2 + H_2O = Sn_3As_4O_9 + 2KCl + 4HCl$$
（白色）

$$2KH(AsO_2)_2 + 2HgCl_2 = Hg_2As_2O_6 + 2KCl + 2HCl + As_2O_3$$
（$Hg_2As_2O_6$：淡黄白色）

$$2KH(AsO_2)_2 + 3MgSO_4 + H_2O = Mg_3(AsO_3)_2 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4 + As_2O_3$$

$$2KH(AsO_2)_2 + 3MnSO_4 + H_2O = Mn_3As_4O_9\downarrow + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$$
（$Mn_3As_4O_9$：雪白色凝乳状）

【$Zn(AsO_2)_2$】 $AsO_2^- + I_2 + 2H_2O \rightleftharpoons AsO_4^{3-} + 2I^- + 4H^+$

$$Zn(AsO_2)_2 + 6HCl = 2AsCl_3 + ZnO + 3H_2O$$

$$Zn(AsO_2)_2 + 2NaHCO_3 = 2NaAsO_2 + ZnO + 2CO_2 + H_2O$$

$$NaAsO_2 + I_2 + H_2O = NaAsO_3 + 2HI$$

$$AsO_2^- + 3Ag^+ + H_2O = Ag_3AsO_3\downarrow + 2H^+$$

$$Ag_3AsO_3 + 3H^+ \rightleftharpoons 3Ag^+ + H_3AsO_3\text{(溶解)}$$

【Na_2HAsO_3】 $Na_2HAsO_3 + I_2 + 3NaOH \xlongequal{pH5至9} Na_3AsO_4 + 2NaI + 2H_2O$

$$Na_2HAsO_3 + 3Zn + 4H_2SO_4 = 3ZnSO_4 + Na_2SO_4 + AsH_3\uparrow + 3H_2O$$

$$3Na_2HAsO_3 + 6AgNO_3 = 6NaNO_3 + H_3AsO_3 + 2Ag_3AsO_3$$

【Na_3AsO_3】 $Na_3AsO_3 + I_2 + H_2O = Na_3AsO_4 + 2HI$

(在pH＝5至9的情况下)

$$Na_3AsO_3 + I_2 + 2NaHCO_3 = Na_3AsO_4 + 2NaI + 2CO_2 + H_2O$$

(这里不能用Na_2CO_3，因为Na_2CO_3与I_2能反应，如 $3Na_2CO_3 + 3I_2 = NaIO_3 + 5NaI + 3CO_2$)

$$AsO_3^{3-} + 2Al + 3OH^- = 2AlO_3^{3-} + AsH_3\uparrow$$

$$AsO_3^{3-} + 3Zn + 3OH^- = 3ZnO_2^{2-} + AsH_3\uparrow$$

$$Na_3AsO_3 + 3Mg + 9HCl = 3MgCl_2 + AsH_3\uparrow + 3NaCl + 3H_2O$$

$$AsO_3^{3-} + 3Zn + 9H^+ = 3Zn^{2+} + AsH_3\uparrow + 3H_2O$$

$$Na_3AsO_3 + 6HCl = AsCl_3 + 3NaCl + 3H_2O$$

$$2AsCl_3 + 3SnCl_2 = 3SnCl_4 + 2As\downarrow$$

(棕色以至黑色)

(反应在浓盐酸的存在下)

$$2Na_3AsO_3 + 6HCl + 3H_2S = As_2S_3\downarrow + 6NaCl + 6H_2O$$

$2AsO_3^{3-}+6H^+ \rightleftharpoons As_2O_3+3H_2O$

$AsO_3^{3-}+6H^++3I^- = AsI_3\downarrow+3H_2O$

（红色）

$Na_3AsO_3+3AgCl = Ag_3AsO_3\downarrow+3NaCl$

（黄色）

（Ag_3AsO_3比AgCl更难溶解）

$2AsO_3^{3-}+3Ca^{2+} \rightleftharpoons Ca_3(AsO_3)_2\downarrow$

$Na_3AsO_3+10K_2SO_4 = Na_3AsO_3\cdot 10K_2SO_4$

$Na_3AsO_3+3AgNO_3 \xlongequal{\text{中性}} Ag_3AsO_3\downarrow+3NaNO_3$

（黄色）

$5Na_3AsO_3+2KMnO_4+3H_2SO_4$

$= K_2SO_4+2MnSO_4+5Na_3AsO_4+3H_2O$

（为了使反应正常进行，必须有大量的酸存在）

【Ag_3AsO_3】　$Ag_3AsO_3+6NH_4OH = 3[Ag(NH_3)_2]^+$

$+AsO_3^{3-}+6H_2O$

（使Ag_3AsO_3溶解）

【Na_3AsO_4】　$Na_3AsO_4+11HCl+4Mg = 4MgCl_2$

$+3NaCl+AsH_3\uparrow+4H_2O$

$AsO_4^{3-}+11H^++4Zn = AsH_3+4Zn^{2+}+4H_2O$

$2AsO_4^{3-}+5H_2S+6H^+ \xlongequal[70℃]{I^-\text{催化}} As_2S_3\downarrow+2S+8H_2O$

$Na_3AsO_4+H_2SO_3 = Na_2SO_4+NaAsO_2+H_2O$

$Na_3AsO_4+2NaI+2HCl = Na_3AsO_3+2NaCl$

$+I_2+H_2O$

$Na_3AsO_4+2NaI+3HCl+H_2O = AsCl_3+5NaOH$

$+I_2$

$AsO_4^{3-}+2I^-+2H^+ \rightleftharpoons AsO_3^{3-}+I_2+H_2O$

$AsO_4^{3-}+4H^++2I^- = AsO_2^-+I_2+2H_2O$

$AsO_4^{3-}+2Br^-+2H^+ \rightleftharpoons AsO_3^{3-}+Br_2+H_2O$

$$Na_3AsO_4 + 2Na_2S_2O_3 + 10HCl = AsCl_3 + H_2S_4O_6 + 7NaCl + 4H_2O$$

$$2Na_3AsO_4 + 3HgCl_2 = Hg_3(AsO_4)_2 + 6NaCl$$

$$2Na_3AsO_4 + 2HgCl_2 + H_2O = Hg_2As_2O_7 + 4NaCl + 2NaOH$$

$$Na_3AsO_{4(\text{过量})} + 3HgNO_3 = \underset{(\text{橙色})}{Hg_3AsO_4\downarrow} + 3NaNO_3$$

$$2Na_3AsO_{4(\text{过量})} + 3Hg(NO_3)_2 = \underset{(\text{淡黄色})}{Hg_3(AsO_4)_2\downarrow} + 6NaNO_3$$

$$AsO_4^{3-} + 3NH_4^+ + 12MoO_4^{2-} + 24H^+ = \underset{(\text{黄色})}{(NH_4)_3AsO_4\cdot 12MoO_3\downarrow} + 12H_2O$$

$$(NH_4)_3AsO_4\cdot 12MoO_3 + 23OH^- \rightleftharpoons HAsO_4^{2-} + 12MoO_4^{2-} + 3NH_4^+ + 11H_2O$$

〔$(NH_4)_3AsO_4\cdot 12MoO_3$溶于$NH_4OH$和碱金属氢氧化物〕

$$2AsO_4^{3-} + 3Ca^{2+} \rightleftharpoons \underset{(\text{白色，溶于酸})}{Ca_3(AsO_4)_2\downarrow}$$

$$AsO_4^{3-} + Mg^{2+} + NH_4^+ \rightleftharpoons \underset{(\text{白色，溶于酸不溶于}NH_4OH)}{MgNH_4AsO_4}$$

$$MgNH_4AsO_4 + H_2O \rightleftharpoons MgHAsO_4 + NH_4OH$$

$$MgNH_4AsO_4 \xlongequal{\text{高温}} MgHAsO_4 + NH_3\uparrow$$

$$2MgNH_4AsO_4 \xlongequal[\text{或灼烧}]{\text{高温}} Mg_2As_2O_7 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$MgNH_4AsO_4 + 3AgNO_3 = Ag_3AsO_4\downarrow + Mg(NO_3)_2 + NH_4NO_3$$

【Na_2HAsO_4】　$Na_2HAsO_4 + 2H^+ \rightleftharpoons H_3AsO_4 + 2Na^+$

$$6Na_2HAsO_4 + 23HgCl_2 + 12H_2O = [Hg_3(AsO_4)_2]_3(HgCl_2)_5 \cdot (HgO)_9 \cdot 3H_2O\downarrow + 12NaCl + 24HCl$$

$$2Na_2HAsO_4 + 3Hg(NO_3)_{2(过量)} = Hg_3(AsO_4)_2 + 4NaNO_3 + 2HNO_3$$

$$Na_2HAsO_4 + 12(NH_4)_2MoO_{4(过量)} + 23HNO_{3(热)} = (NH_4)_3AsO_4 \cdot 12MoO_3\downarrow + 2NaNO_3 + 21NH_4NO_3 + 12H_2O$$

（砷钼酸铵、黄色结晶）

$$(NH_4)_3AsO_4 \cdot 12MoO_3 + 23OH^- = HAsO_4^{2-} + 12MoO_4^{2-} + 3NH_4^+ + 11H_2O$$

【K_3AsO_4】　$K_3AsO_4 + MgO = KMgAsO_4 + K_2O$

$$K_3AsO_4 + MnO_2 = KMnOAsO_4 + K_2O$$

$$K_3AsO_4 + ZnO = KZnAsO_4 + K_2O$$

$$K_3AsO_4 + NiO = KNiAsO_4 + K_2O$$

【$Ca_3(AsO_4)_2$】　$Ca_3(AsO_4)_2 + 2H_2O = 2CaHAsO_4 + Ca(OH)_2$

$$10Ca_3(AsO_4)_2 + 6H_2O = 3[(Ca_3(AsO_4)_2)_3 \cdot Ca(OH)_2] + 2H_3AsO_4$$

$$Ca_3(AsO_4)_2 + 2NH_4OH = 2CaNH_4AsO_4\downarrow + Ca(OH)_2$$

【Ag_3AsO_4】　$Ag_3AsO_4 + H^+ \rightleftharpoons HAsO_4^{2-} + 3Ag^+$

（在CH_3COOH中Ag_3AsO_4也能溶解）

【Na_3AsS_4】　$Na_3AsS_4 + 4NaOH_{(过量)} \xlongequal{\triangle} Na_3AsO_2S_2 + 2Na_2S + 2H_2O$

$$2Na_3AsS_4 + 6HCl = 2H_3AsS_4 + 6NaCl$$

$$2Na_3AsS_4 + 6HCl \xlongequal{} 6NaCl + As_2S_5 + 3H_2S$$

$$2Na_3AsS_4 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} 3Na_2SO_4 + As_2S_5 + 3H_2S\uparrow$$

$$2Na_3AsS_4 + 3HgCl_2 \xlongequal{} \underset{(橙黄色)}{Hg_3(AsS_4)_2}\downarrow + 6NaCl$$

$$2Na_3AsS_{4(冷液)} + 3ZnSO_4 \xlongequal{} \underset{(淡黄色)}{Zn_3(AsS_4)_2}\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$Na_3AsS_{4(浓)} + ZnSO_{4(稀)} + 4H_2O \xlongequal{} NaZnAsS_4 \cdot 4H_2O + Na_2SO_4$$

$$2Na_3AsS_4 + 3CuSO_4 \xlongequal{} \underset{(棕红色)}{Cu_3(AsS_4)_2}\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$2Na_3AsS_4 + 3CuSO_{4(过量)} + 6H_2O \xlongequal{共煮} 2H_3AsO_3S + 3Na_2SO_4 + 3CuS\downarrow + 3H_2S$$

$$Na_3AsS_4 + 3AgNO_3 + 2KCN \xlongequal{} \underset{(红色)}{Ag_3AsS_3}\downarrow + 3NaNO_3 + K_2S + C_2N_2$$

$$2Na_3AsS_4 + 16AgNO_3 + 8H_2O \xlongequal[或氨性溶液]{中性} 8Ag_2S\downarrow + 2H_3AsO_3 + 6NaNO_3 + 10HNO_3 + O_2$$

$$Na_3AsS_4 + 6AgNO_3 + 3H_2O \xlongequal[或氨性溶液]{中性} 3Ag_2S + H_3AsO_3 + 3NaNO_3 + 3HNO_3 + S$$

【Na_3AsO_3S】 $5Na_3AsO_3S + 30HCl_{(稀)} \xlongequal{} \underset{(灰黄色)}{As_2S_5} + 15NaCl + 3AsCl_5 + 15H_2O$

$$10Na_3AsO_3S + 15H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{} 15Na_2SO_4 + \underset{(黄色)}{2As_2S_5}\downarrow + 3As_2O_5 + 15H_2O$$

$$Na_3AsO_3S + 5AgNO_{3(过量)} + H_2O \xlongequal{}$$

$$Ag_3AsO_4\downarrow + 3NaNO_3 + 2HNO_3 + Ag_2S\downarrow$$

【$AsCl_3$】 $AsCl_3 + Cl_{2(过量)} + 4H_2O = H_3AsO_4 + 5HCl$

$$AsCl_3 + Cl_2 \xrightarrow{低温下} AsCl_5$$

$$AsCl_5 \xrightarrow{\triangle} AsCl_3 + Cl_2$$

$$As^{3+} + 3Zn + 3H^+ = 3Zn^{2+} + AsH_3$$

$$AsCl_3 + 6NH_{3(过量)} \xrightarrow{低温} As(NH_2)_3 + 3NH_4Cl$$

$$2As(NH_2)_3 \xrightarrow{较高温} 2As(NH)_3 + 3H_2\uparrow$$

$$2As(NH)_3 = 2AsN + 2N_2 + 3H_2\uparrow$$

$$AsCl_3 + 3H_2O = H_3AsO_3 + 3HCl$$

（$AsBr_3$有类似的反应）

$$2AsCl_3 + 3H_2O = As_2O_3 + 6HCl$$

$$2AsCl_{3(盐酸溶液)} + 3H_2S_{(气)} = As_2S_3\downarrow + 6HCl$$

$$4AsCl_3 + 5H_2S_{(干燥)} = As_4S_5Cl_2 + 10HCl$$

$$AsCl_3 + 3Na_2S_2O_3 + 3KCl = K_3As(S_2O_3)_3 + 6NaCl$$

$$2AsCl_3 + 3SnCl_2 = 3SnCl_4 + 2As$$

$$2As^{3+} + 3S^{2-} = As_2S_3\downarrow$$

$$2AsCl_3 + KIO_3 + 5H_2O = 2H_3AsO_4 + KCl + ICl + 4HCl$$

$$2As^{3+} + 3H_2PO_2^- + 3H_2O = 3H_2PO_3^- + 2As\downarrow + 6H^+$$

$$3AsCl_3 + 2KMnO_4 + 10HCl \xrightarrow{酸性中} 2MnCl_2 + 2KCl + 3AsOCl_3 + 2Cl_2\uparrow + 5H_2O$$

（三氯氧化砷）

$$5As^{3+} + 2MnO_4^- + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 5As^{5+} + 8H_2O$$

$$2As^{3+} + 3Sn^{2+} = 3Sn^{4+} + 2As\downarrow$$

【As_2S_3】 $As_2S_3 + 3I_2 = 2AsI_3 + 3S$

$$As_2S_3 + 5I_2 + 5H_2O \xlongequal{\triangle} As_2O_5 + 10HI + 3S$$

$$2As_2S_3 + 9O_2 \xlongequal{\triangle} 2As_2O_3 + 6SO_2\uparrow$$

注： As_2S_3 不溶于水和盐酸，而易溶于碱金属和铵的氢氧化物中，也溶于浓硝酸、碳酸盐及碱性 H_2O_2 中。如下列化学反应方程式：

$$As_2S_3 + 14H_2O_2 + 12OH^- = 2AsO_4^{3-} + 3SO_4^{2-} + 20H_2O$$

$$As_2S_3 + 6NaOH(过量) = Na_3AsO_3 + Na_3AsS_3 + 3H_2O$$

$$2As_2S_3 + 4OH^- = AsO_2^- + 3AsS_2^- + 2H_2O$$

$$As_2S_3 + 6NH_3 + 3H_2O = (NH_4)_3AsO_3 + (NH_4)_3AsS_3$$

$$As_2S_3 + 6HCl(浓) \xlongequal{煮沸} 2AsCl_3 + 3H_2S \text{（反应较难进行）}$$

$$3As_2S_3 + 10HNO_3(稀) \xlongequal{\triangle} 6HAsO_3 + 10NO + 9S\downarrow + 2H_2O$$

$$3As_2S_3 + 28HNO_3(浓) + 4H_2O = 6H_3AsO_4 + 9H_2SO_4 + 28NO\uparrow$$

$$As_2S_3 + 10HNO_3(浓) = 2H_3AsO_4 + 10NO_2\uparrow + 3S\downarrow + 2H_2O$$

$$As_2S_3 + SnCl_2 + 2HCl(发烟) = As_2S_2\downarrow + SnCl_4 + H_2S$$

$$5As_2S_3 + 12AgCl \xlongequal{\triangle} 3Ag_4As_2S_5 + 4AsCl_3$$

$$4As_2S_3 + 15AgCl \xlongequal{\triangle} 3Ag_5AsS_4 + 5AsCl_3$$

$$2As_2S_3 + 3AgCl \xlongequal{170℃} 3AgAsS_2 + AsCl_3$$

$$As_2S_3 + 3S^{2-} = 2AsS_3^{3-}$$

$$As_2S_3 + 3S^{2-} + 2S = 2AsS_4^{3-}$$

$$As_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3AsS_3$$

$$As_2S_3 + K_2S = 2KAsS_2 \text{（可溶）}$$

$$As_2S_3 + 3K_2S = 2K_3AsS_3 \text{（可溶）}$$

$$As_2S_3 + 3Na_2S_2 = 2Na_3AsS_4 + S$$

$$As_2S_3 + 3(NH_4)_2S = 2(NH_4)_3AsS_3$$

$$As_2S_3 + 3NH_4HS + 3NH_3 = 2(NH_4)_3AsS_3$$

$$2As_2S_3 + 2CO_3^{2-} = AsO_2^- + 3AsS_2^- + 2CO_2$$

$$As_2S_3 + 3K_2CO_{3(\text{沸液})} + O_2 + 5H_2O = 3KHCO_3 + \underset{\text{（结晶）}}{K_2O\cdot As_2S_2O_3\cdot 3H_2O} + KHS$$

$$2As_2S_{3(\text{固})} + 4K_2CO_{3(\text{固})} + 2O_2 \xlongequal{\text{熔化}} As_2S_5 + K_2S + 2K_3AsO_4 + 4CO_2\uparrow$$

$$2As_2S_3 + Na_2CO_{3(\text{沸液})} + 2O_2 + 7H_2O \xlongequal{\triangle} Na_2O\cdot(As_2S_3O_2)_2\cdot 7H_2O + CO_2$$

$$As_2S_3 + 3Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} As_2O_3 + 3Na_2S + 3CO_2$$

$$As_2S_3 + 3(NH_4)_2CO_3 = (NH_4)_3AsS_3 + (NH_4)_3AsO_3 + 3CO_2\uparrow$$

$$As_2S_3 + 14H_2O_2 + 6(NH_4)_2CO_3 = 2(NH_4)_3AsO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 6CO_2\uparrow + 14H_2O$$

【As_2S_5】

$$As_2S_5 + 20H_2O_2 + 16OH^- = 2AsO_4^{3-} + 5SO_4^{2-} + 28H_2O$$

$$As_2S_5 + 8Na_2O = 2Na_3AsO_4 + 5Na_2S$$

$$4As_2S_5 + 24OH^-_{(\text{过量})} = 5AsS_4^{3-} + 3AsO_4^{3-} + 12H_2O$$

$$As_2S_5 + 6NaOH = Na_3AsS_4 + Na_3AsO_3S + 3H_2O$$

$$As_2S_5 + 3H_2S \rightleftharpoons 2H_3AsS_4$$

$$3As_2S_5 + 20ClO_3^- + 24H_2O = 6H_3AsO_4 + 15SO_4^{2-} + 20Cl^- + 30H^+$$

$$3As_2S_5 + 5ClO_3^- + 5H^+ + 9H_2O = 6H_3AsO_4 + 15S + 5HCl$$

$$As_2S_5 + 10NO_3^- + 10H^+ = 2H_3AsO_4 + 10NO_2\uparrow + 5S + 2H_2O$$

$$As_2S_5 + 3SnCl_2 + 6HCl(浓) = As_2S_2 + 3SnCl_4 + 3H_2S$$

$$As_2S_5 + 3Na_2S = 2Na_3AsS_4$$

$$As_2S_5 + 3(NH_4)_2S = 2(NH_4)_3AsS_4$$

$$As_2S_5 + 3S^{2-} = 2AsS_4^{3-}$$

$$As_2S_5 + 40NO_3^- + 40H^+ = 2H_3AsO_4 + 40NO_2 + 5H_2SO_4 + 12H_2O$$

$$3As_2S_5 + 10NO_3^- + 30Cl^- + 40H^+ = 6AsCl_5 + 10NO + 15S + 20H_2O$$

$$6AsCl_5 + 24H_2O \rightleftharpoons 6H_3AsO_4 + 30HCl$$

$$As_2S_5 + 3CO_3^{2-} = AsS_4^{3-} + AsO_3S^{3-} + 3CO_2$$

【H_3AsS_3】 $2H_3AsS_3 \xlongequal{\triangle} 3H_2S\uparrow + As_2S_3\downarrow$

【H_3AsS_4】 $2H_3AsS_4 \xlongequal{\triangle} As_2S_5\downarrow + 3H_2S\uparrow$

【Na_3AsS_3】 $Na_3AsS_3 + 2NaOH = Na_3AsS_2O + Na_2S + H_2O$

$$2Na_3AsS_3 + 6HCl = As_2S_3\downarrow + 6NaCl + 3H_2S\uparrow$$

$$2AsS_3^{3-} + 6H^+ \rightleftharpoons 2H_3AsS_3 \rightleftharpoons As_2S_3 + 3H_2S$$

（在溶液中进行）

$$Na_3AsS_3 + 3AgNO_3 + 2H_2O = AgAsS_2 + NaNO_3 + Ag_2S + 2NaOH + 2HNO_3$$

【Na_3AsS_4】 $Na_3AsS_4 + 4NaOH_{(足量)} \xrightarrow{\triangle} Na_3AsO_2S_2 + 2Na_2S + 2H_2O$

$$2Na_3AsS_4 + 6HCl = 6NaCl + 2H_3AsS_4$$

$$2Na_3AsS_4 + 6HCl_{(稀)} = 6NaCl + As_2S_5 + 3H_2S$$

$$2Na_3AsS_4 + 3H_2SO_4 = As_2S_5 + 3Na_2SO_4 + 3H_2S\uparrow$$

【FeAsS】 $4FeAsS_{(固)} \xrightarrow{高温} 4FeS_{(固)} + As_4\uparrow$

$$FeAsS + 15HNO_3 + 2NaNO_3 = Fe(NO_3)_3 + H_3AsO_4 + Na_2SO_4 + 14NO_2\uparrow + 6H_2O$$

【Na_3As】 $Na_3As + 3H_2O = 3NaOH + AsH_3\uparrow$

【Zn_3As_2】 $Zn_3As_2 + 6H^+ = 3Zn^{2+} + 2AsH_3\uparrow$

3.4 锑 $5s^25p^3$ Sb = 121.75

【Sb】 $2Sb + 3Cl_2 = 2SbCl_3$

$$2Sb + 5Cl_{2(过量)} \xrightarrow{燃烧} 2SbCl_5$$

$$4Sb + 3O_{2(空气)} \xrightarrow{燃烧} 2Sb_2O_3\text{(或生成}Sb_4O_6\text{)}$$

$$2Sb + 6H_2SO_{4(浓)} = Sb_2(SO_4)_3 + 3SO_2 + 6H_2O$$

$$6Sb + 10HNO_{3(浓)} = 3Sb_2O_5 + 10NO + 5H_2O$$

(此反应是中间反应)

$$3Sb + 5HNO_{3(浓)} = 3HSbO_3\downarrow + 5NO\uparrow + H_2O$$

(偏锑酸)

$$3Sb + 5HNO_3 + 2H_2O = 3H_3SbO_4 + 5NO\text{(主要反应)}$$

注： Sb与HCl、稀H_2SO_4不发生反应。

【SbH_3】(䏲) $2SbH_3 \xlongequal{\triangle} 2Sb\downarrow + 3H_2$

$2SbH_3 + 3O_2 \xlongequal{燃烧} Sb_2O_3 + 3H_2O$

$SbH_{3(气)} + 3NaOH_{(固)} \xlongequal{} \underset{(淡绿色)}{Na_3Sb} + 3H_2O$

$2Na_3Sb + 6HCl \xlongequal{} 6NaCl + \underset{(固体)}{Sb_2H_2} + 2H_2$

$SbH_3 + 3AgNO_3 \xlongequal{} Ag_3Sb\downarrow + 3HNO_3$

$Ag_3Sb + 3AgNO_3 + 3H_2O \xlongequal{} H_3SbO_3 + 3HNO_3 + 6Ag\downarrow$

$SbH_{3(气)} + 2KMnO_{4(溶液)} \xlongequal{} Mn_2O_3 + K_2HSbO_4 + H_2O$

【Sb_2O_3】 $Sb_2O_3 + 3C \xlongequal{高温} 2Sb + 3CO$

$Sb_2O_3 + 6NaOH \xlongequal{} 2Na_3SbO_3 + 3H_2O$

$Sb_2O_3 + 2NaOH \xlongequal{} 2NaSbO_2 + H_2O$

$Sb_2O_3 + 6HCl \xlongequal{\triangle} 2SbCl_3 + 3H_2O$

$Sb_2O_3 + 3H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} Sb_2(SO_4)_3 + 3H_2O$

$Sb_2O_3 + 6HNO_{3(浓)} \xlongequal{} 2Sb(NO_3)_3 + 3H_2O$

$Sb_2O_3 + 2H_3PO_{3(纯)} \xlongequal{} 2(SbO\cdot H_2PO_3) + H_2O$

$Sb_2O_3 + \underset{(酒石酸)}{2H_2C_4H_4O_6} \xlongequal{} 2H[(SbO)C_4H_4O_6] + H_2O$

$Sb_2O_3 + \underset{(酒石酸氢钾)}{2KHC_4H_4O_6} \xlongequal{煮沸} 2K(SbO)C_4H_4O_6 + H_2O$

$Sb_2O_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{} 2NaSbO_2 + CO_2\uparrow$

$5Sb_2O_3 + 4KMnO_4 + 12HCl \xlongequal{} 5Sb_2O_5 + 4MnCl_2 + 4KCl + 6H_2O$

【Sb_2O_5】 $Sb_2O_5 + 6KOH \xlongequal{共熔} 2K_3SbO_4 + 3H_2O$

$$Sb_2O_5 + 10HCl(浓) = 2SbCl_5 + 5H_2O$$

【Sb_2O_4】 $$Sb_2O_4 + 2KI + 8HCl(浓) \xlongequal{\triangle} 2SbCl_3 + 2KCl + I_2 + 4H_2O$$

【$HSbO_2$】 $$HSbO_2 + NaOH = NaSbO_2 + H_2O$$

$$HSbO_2 + 6H^+ + 2Cl^- = H_3[SbCl_2] + 2H_2O$$

【H_3SbO_3】 $$H_3SbO_3 + I_2 + H_2O = H_3SbO_4 + 2HI$$

$$2H_3SbO_3 + 3H_2S = Sb_2S_3 + 6H_2O$$

$$3H_3SbO_3 + KBrO_3 \xlongequal[室温]{盐酸溶液中} 3H_3SbO_4 + KBr$$

$$3H_3SbO_3 + K_2Cr_2O_7 + 8HCl = 3H_3SbO_4 + 2CrCl_3 + 2KCl + 4H_2O$$

【H_3SbO_4】 $$H_3SbO_4 \xlongequal{275℃} HSbO_3 + H_2O$$

$$2HSbO_3 \xlongequal{275℃} Sb_2O_5 + H_2O$$

【$KSbO_2$】 $$SbO_2^- + I_2 + H_2O \xlongequal[或微碱性溶液中]{中性} SbO_3^- + 2H^+ + 2I^-$$

$$6KSbO_2 + 8AgNO_3 + 2KOH = 4SbO_3K + 2KNO_3 + 2KOH + 2Ag\downarrow + Sb_2\downarrow$$

【$KSbO_3$】 $$KSbO_3(固) + 6HCl(干燥) = KCl + SbCl_3 + Cl_2 + 3H_2O$$

【K_3SbO_4】 $$2K_3SbO_4 + H_2O \rightleftharpoons K_4Sb_2O_7 + 2KOH$$

$$K_4Sb_2O_7 + 3H_2O \underset{}{\overset{煮沸}{\rightleftharpoons}} 2KH_2SbO_4 + 2KOH$$

$$K_3SbO_4 + 3HNO_3 = H_3SbO_4 + 3KNO_3$$

【$SbCl_3$】 $$SbCl_3 + 3H_2 = 3HCl + SbH_3\uparrow$$

$$SbCl_3 + Cl_2 = SbCl_5 + 16千卡$$

$$SbCl_3 + H_2O \rightleftharpoons Sb(OH)Cl_2 + HCl$$

$$Sb(OH)Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons Sb(OH)_2Cl + HCl$$

$$SbCl_3 + H_2O \rightleftharpoons SbOCl\downarrow + 2HCl$$
（白色）

$$2SbOCl + H_2O(过量) = Sb_2O_3 + 2HCl$$

$$SbOCl + 2HCl = SbCl_3 + H_2O$$

$$2SbCl_3 + 3H_2O = Sb_2O_3 + 6HCl$$

$$SbCl_3 + 3H_2O = H_3SbO_3 + 3HCl$$

$$2SbCl_3 + 6NaOH = 6NaCl + Sb_2O_3\downarrow + 3H_2O$$

$$SbCl_3 + 3NaOH = Sb(OH)_3\downarrow + 3NaCl$$
（白色）

$$SbCl_3 + HCl = HSbCl_4$$

$$2SbCl_3 + 3H_2S = Sb_2S_3 + 6HCl$$

$$2SbCl_3 + 3H_2SO_4(浓) = Sb_2(SO_4)_3 + 6HCl$$

$$SbCl_3 + 3Na_2S_2O_3 \xrightarrow{在HCl中进行} Na_3Sb(S_2O_3)_3 + 3NaCl$$

$$2SbCl_3 + 2Na_2S_2O_3 + 3H_2O \xrightarrow{水浴上加热} Sb_2OS_2\downarrow + 2Na_2SO_4 + 6HCl$$
（橘红）

$$4SbCl_3 + 3Na_2S_2O_3 + 6H_2O \xrightarrow{\triangle} Sb_2O_3\cdot Sb_2S_2\downarrow + 3Na_2SO_4 + 12HCl + S$$
（红色）

$$2SbCl_3 + 3Na_2CO_3 = Sb_2O_3\downarrow + 6NaCl + 3CO_2\uparrow$$

$$2SbCl_3 + 3(NH_4)_2CO_3 = 6NH_4Cl + Sb_2(CO_3)_3\downarrow$$

$$5SbCl_3 + 2KMnO_4 + 16HCl = 5SbCl_5 + 2KCl + 2MnCl_2 + 8H_2O$$

$$SbCl_3 + C_{20}H_{29}OH = C_{20}H_{29}OH\cdot SbCl_3$$
（维生素A） （蓝色溶液）

【Sb^{3+}】 $2Sb^{3+} + 3Mg = 2Sb\downarrow + 3Mg^{2+}$
（黑色）

$$Sb^{3+} + 3Zn + 3H^+ = SbH_3 + 3Zn^{2+}$$

$$2Sb^{3+} + 3Sn = 2Sb + 3Sn^{2+}$$

$$Sb^{3+} + 3OH^- = Sb(OH)_3\downarrow \text{（具有两性）}$$

$$Sb^{3+} + 2NO_2^- + 4H^+ = Sb^{5+} + 2NO + 2H_2O$$

$$2Sb^{3+} + 3S^{2-} \xlongequal{\text{在酸性溶液中}} \underset{\text{（橙色）}}{Sb_2S_3}$$

$$3Sb^{3+} + BrO_3^- + 6H^+ = 3Sb^{5+} + Br^- + 3H_2O$$

$$2Sb^{3+} + 3C_2H_3OS^- + 3H_2O \xlongequal{\text{酸性溶液中}} Sb_2S_3 + 3HC_2H_3O_2 + 3H^+$$

【$SbCl_5$】 $SbCl_5 \xlongequal{\Delta} SbCl_3 + Cl_2$

$$3SbCl_5 + 2Sb = 5SbCl_3$$

$$SbCl_5 + 2H_2O \rightleftharpoons SbO_2Cl + 4H^+ + 4Cl^-$$

$$SbO_2Cl + 2H_2O \rightleftharpoons H_3SbO_4 + H^+ + Cl^-$$

$$H_3SbO_4 \rightleftharpoons HSbO_3 + H_2O$$

$$SbCl_5 + 4H_2O\text{（过量）} \xlongequal{\Delta} H_3SbO_4 + 5HCl$$

$$SbCl_5 + SO_3 \xlongequal{SO_2Cl} \underset{\text{（白色结晶）}}{SbCl_4\cdot(SO_3Cl)}$$

$$SbCl_5 + 2SO_3 = \underset{\text{（白色结晶）}}{SbCl_3\cdot(SO_3Cl)_2}$$

$$2SbCl_5 + NO \xlongequal[\text{封闭管内}]{100℃} (SbCl_5)_2\cdot NO$$

$$3SbCl_5 + 2NO_2 \xlongequal[\text{封闭管内}]{100℃} \underset{\text{（灰黄色结晶）}}{(SbCl_5)_3\cdot 2NO_2}$$

$$4SbCl_5 + PH_3 = 4SbCl_3 + PCl_5 + 3HCl$$

$$SbCl_5 + H_2S = SbSCl_3 + 2HCl$$

$$3SbCl_5 + 2NH_4Cl \xlongequal{400℃} 3SbCl_3 + 8HCl + N_2$$

$$SbCl_5 + SbCl_3 \rightleftharpoons 2SbCl_4$$

【Sb^{5+}】 $2Sb^{5+} + 5Mg \xlongequal{\text{在酸性溶液中}} 2Sb + 5Mg^{2+}$

$$Sb^{5+} + 4Zn + 3H^+ = SbH_3 + 4Zn^{2+}$$

（Sn、Fe均可发生类似反应）

$$Sb^{5+} + 2I^- \xlongequal{\text{在酸性溶液中}} Sb^{3+} + I_2$$

$$2Sb^{5+} + 5S^{2-} \rightleftharpoons Sb_2S_5$$

（如锑盐溶液中通入H_2S）

【$(SbCl_6)^-$】 $(SbCl_6)^- + 2H_2O \rightleftharpoons SbO_2Cl\downarrow + 4H^+ + 5Cl^-$

$$(SbCl_6)^- + 5OH^- = HSbO_3\downarrow + 6Cl^- + 2H_2O$$

$$2(SbCl_6)^- + 5H_2S = Sb_2S_5\downarrow + 12Cl^- + 10H^+$$

【$(SbCl_6)^{2-}$】 $(SbCl_6)^{2-} + 3H_2O \rightleftharpoons H_2SbO_3\downarrow + 4H^+ + 6Cl^-$

【$(SbCl_6)^{3-}$】 $2(SbCl_6)^{3-} + 3Sn \xlongequal{\text{在盐酸中}} 2Sb\downarrow + 3Sn^{2+} + 12Cl^-$

（使锡片上显黑色）

$$(SbCl_6)^{3-} + H_2O \rightleftharpoons SbOCl\downarrow + 2H^+ + 5Cl^-$$

$$(SbCl_6)^{3-} + 3OH^- \rightleftharpoons HSbO_2\downarrow + 6Cl^- + H_2O$$

$$2(SbCl_6)^{3-} + 3H_2S = Sb_2S_3\downarrow + 6H^+ + 12Cl^-$$

$$2(SbCl_6)^{3-} + 2Na_2S_2O_3 + 3H_2O = Sb_2OS_2\downarrow + 2SO_4^{2-} + 4Na^+ + 6H^+ + 12Cl^-$$

【SbOCl】 $SbOCl_{(固)} + 2HCl \rightleftharpoons SbCl_3 + H_2O$

（固体溶解，若加过量水又有沉淀出现）

$$SbOCl + H_2C_4H_4O_6 = H(SbO)C_4H_4O_6 + HCl$$

$$SbOCl + C_4H_4O_6^{2-} = [(SbO)C_4H_4O_6]^- + Cl^-$$

（酒石酸盐）

$$[(SbO)C_4H_4O_6]^- + H^+ + 2H_2O = H_3SbO_3 + H_2C_4H_4O_6$$

（酒石酸）

【Sb_2S_3】 $2Sb_2S_3 + 9O_2 \xlongequal{\triangle} 2Sb_2O_3 + 6SO_2\uparrow$

$$Sb_2S_3 + 3Fe \overset{\triangle}{=\!=} 3FeS + 2Sb$$

$$Sb_2S_3 + 2Sb_2O_3 \overset{\triangle}{=\!=} 6Sb + 3SO_2\uparrow$$

$$2Sb_2S_3 + 4NaOH = NaSbO_2 + 3NaSbS_2 + 2H_2O$$

注： Sb_2S_3难溶于NH_4OH或$(NH_4)_2CO_3$。

$$2Sb_2S_3 + 4OH^- = SbO_2^- + 3SbS_2^- + 2H_2O$$

$$Sb_2S_3 + 6OH^- = SbS_3^{3-} + SbO_3^{3-} + 3H_2O$$

$$Sb_2S_3 + 6NaOH_{(高浓度)} = Na_3SbO_3 + Na_3SbS_3 + 3H_2O$$

$$Sb_2S_3 + 12HCl = 2H_3[SbCl_6] + 3H_2S\uparrow$$

$$Sb_2S_3 + 6HCl_{(浓热)} = 2SbCl_3 + 3H_2S\uparrow$$

$$Sb_2S_3 + Na_2S = 2NaSbS_2$$

$$Sb_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3SbS_3$$

（硫代亚锑酸钠）

$$Sb_2S_3 + 3(NH_4)_2S = 2(NH_4)_3SbS_3$$

$$Sb_2S_3 + 2(NH_4)_2S_2 = (NH_4)_3SbS_4 + NH_4SbS_3$$

$$Sb_2S_3 + 3Na_2CO_3 = Sb_2O_3 + 3Na_2S + 3CO_2$$

【Sb_2S_5】

$$Sb_2S_5 \overset{\triangle}{=\!=} Sb_2S_3 + 2S$$

$$Sb_2S_5 + 6NaOH_{(高浓度)} = Na_3SbS_4 + Na_3SbO_3S + 3H_2O$$

$$4Sb_2S_5 + 24OH^- = 5SbS_4^{3-} + 3SbO_4^{3-} + 12H_2O$$

$$Sb_2S_5 + 12HCl_{(热浓)} = 2H_3[SbCl_6] + 3H_2S\uparrow + 2S\downarrow$$

$$Sb_2S_5 + 6HCl = 2SbCl_3 + 3H_2S\uparrow + 2S\downarrow$$

$$Sb_2S_5 + 6H^+_{(过量)} + 8Cl^- = 2SbCl_4^- + 3H_2S\uparrow + 2S$$

（反应在过量的盐酸中进行）

$$Sb_2S_5 + 6H^+ = 2Sb^{3+} + 3H_2S\uparrow + 2S\downarrow$$

$$Sb_2S_5 + 3Na_2S = 2Na_3SbS_4$$

$$Sb_2S_5 + 3(NH_4)_2S = 2(NH_4)_3SbS_4$$

$$Sb_2S_5 + 3S^{2-} = 2SbS_4^{3-}$$

$$Sb_2S_5 + 3S_2^{2-} = 2SbS_4^{3-} + 3S$$

【SbS_3^{3-}】 $2(NH_4)_3SbS_3 + 4O_2$ (空气) $\xlongequal{煮沸} 2(NH_4)_2S_2O_3 + Sb_2S_2O\downarrow + 2NH_3\uparrow + H_2O$

$$2SbS_3^{3-} + 6H^+ \rightleftharpoons 2H_3SbS_3 \rightleftharpoons Sb_2S_3 + 3H_2S$$

【SbS_4^{3-}】 $2SbS_4^{3-} + 6H^+ \rightleftharpoons 2H_3SbS_4 \rightleftharpoons Sb_2S_4S + 3H_2S\uparrow$

$$5SbS_4^{3-} + 3SbO_4^{3-} + 24H^+ \rightleftharpoons 4Sb_2S_5 + 12H_2O$$

【$Sb_2(SO_4)_3$】 $2Sb_2(SO_4)_3 + 5H_2O$(冷) $= (Sb_2O_3)_2SO_3 + 5H_2SO_4$

$7Sb_2(SO_4)_3 + 19H_2O$(热) $= (Sb_2O_3)_7\cdot 2SO_3 + 19H_2SO_4$

$$5Sb_2(SO_4)_3 + 4KMnO_4 + 24H_2O = 10H_3SbO_4 + 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 9H_2SO_4$$

【Zn_3Sb_2】 $Zn_3Sb_2 + 6H_2O = 3Zn(OH)_2 + 2SbH_3\uparrow$

【Mg_3Sb_2】 $Mg_3Sb_2 + 6HCl = 3MgCl_2 + 2SbH_3\uparrow$

【$K(SbO)C_4H_4O_6$】 $K(SbO)C_4H_4O_6 + I_2 + 2NaHCO_3 = 2NaI + 2CO_2 + K(SbO_2)C_4H_4O_6 + H_2O$

3.5 铋 $6s^26p^3$ Bi = 208.9806

【Bi】 $2Bi + 3Cl_2 \xlongequal{燃烧} 2BiCl_3$

$2Bi + 5Cl_2$(过量) $\xlongequal{燃烧} 2BiCl_5$

$4Bi + 3O_2$(空气) $\xlongequal{燃烧} 2Bi_2O_3$

$$2Bi + 3S \xlongequal{共熔} Bi_2S_3$$

$$Bi + 4HNO_{3(稀)} \xlongequal{} Bi(NO_3)_3 + NO + 2H_2O$$

注： Bi在浓HNO_3中呈“钝态”。非氧化性的酸与Bi无反应，加热时才与H_2SO_4反应。

【BiH_3】（很不稳定）$Mg_3Bi_2 + 6H_2O \xlongequal{} 3Mg(OH)_2 + \underset{(胧)}{2BiH_3\uparrow}$

$$2BiH_3 + 3O_2 \xlongequal{燃烧} Bi_2O_3 + 3H_2O$$

【Bi_2O_3】 $Bi_2O_3 + 2Cl_2 + 6KOH \xlongequal{} 2KBiO_3 + 4KCl + 3H_2O$

$$Bi_2O_3 + 3C \xlongequal{高温} 2Bi + 3CO$$

$$Bi_2O_3 + 2HCl \xlongequal{} 2BiOCl + H_2O$$

$$BiOCl + 2HCl \xlongequal{} BiCl_3 + H_2O$$

$$3BiOCl + 6HI_{(浓)} \xlongequal{} 2BiI_3 + BiCl_3 + 3H_2O$$

$$Bi_2O_3 + 3H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{} Bi_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

（Bi_2O_3称为碱酐）

$$Bi_2O_3 \cdot CO_2 \cdot H_2O + 2HCl \xlongequal{} 2BiOCl + 2H_2O + CO_2$$

【Bi_2O_5】 $Bi_2O_5 \xlongequal{灼烧} \underset{(黄色)}{Bi_2O_3} + O_2\uparrow$

$$Bi_2O_5 + 10HCl \xlongequal{} 2BiCl_3 + 2Cl_2\uparrow + 5H_2O$$

【BiO】 $3BiO + 6HCl \xlongequal{} 2BiCl_3 + Bi + 3H_2O$

【$Bi(OH)_3$】 $Bi^{3+}{}_{(盐)} + 3OH^- \rightleftharpoons Bi(OH)_3$

$$\underset{(黄色)}{Bi(OH)_3} \xrightleftharpoons{煮沸} \underset{(灰黄色)}{BiO(OH)} + H_2O$$

$$Bi(OH)_3 + Cl_2 + 3NaOH \xlongequal{} NaBiO_3 + 2NaCl + 3H_2O$$

$$Bi(OH)_3 + H_2O_2 \xlongequal{} \underset{(棕色)}{HBiO_3} + 2H_2O$$

$$Bi(OH)_3+3HCl=BiCl_3+3H_2O$$

$$Bi(OH)_3+HNO_3=Bi(OH)_2NO_3+H_2O$$

（不完全中和）

$$2Bi(OH)_3+3Na_2SnO_2=2Bi\downarrow+3Na_2SnO_3+3H_2O$$

注：$Bi(OH)_3$几乎不溶于碱

【$NaBiO_3$】 $10NaBiO_3$(固)$+4MnSO_4+16H_2SO_4=$

$4HMnO_4+5Bi_2(SO_4)_3+5Na_2SO_4+14H_2O$

【$BiCl_3$】 $BiCl_3+2H_2O\rightleftharpoons Bi(OH)_2Cl+2HCl$

$Bi(OH)_2Cl=BiOCl+H_2O$（水解反应）

$$BiCl_3+H_2O=BiOCl\downarrow+2HCl$$

（白色）

（$BiCl_3$溶于水后，用水稀释发生的水解反应，$BiBr_3$也有类似的反应）

$$BiOCl+2HCl\xlongequal{\triangle}BiCl_3+H_2O$$

（故配制铋盐溶液应加酸，防止水解产生的沉淀）

$$BiCl_3+H_2S=BiSCl+2HCl$$

$$2BiCl_3+3SnCl_2=3SnCl_4+2Bi$$

$$BiCl_3+CS(NH_2)_2\xlongequal{\text{酸性溶液中}}Bi[CS(NH_2)_2]Cl_3$$

（黄色络合物）

【BiI_3】 $BiI_3+H_2O=BiOI\downarrow+2HI$

$4BiI_3+3CCl_4=3CI_4+4BiCl_3$

【BiS】 $3BiS+6HCl=2BiCl_3+3H_2S+Bi$

【Bi_2S_3】 Bi_2S_3+6HCl(浓、热)$=2BiCl_3+3H_2S\uparrow$

$3Bi_2S_3+24HNO_3$(浓)$=6Bi(NO_3)_3+6NO+9S\downarrow+12H_2O$

$Bi_2S_3+2NO_3^-+8H^+$（加热，稀HNO_3）$=3Bi^{3+}+3S\downarrow+2NO+4H_2O$

$$Bi_2S_{3(固)} + 6NO_3^- + 12H^+ = 2Bi^{3+} + 3S\downarrow + 6NO_2 + 6H_2O$$

注：Bi_2S_3 不溶于冷的稀强酸，也不溶于碱金属氢氧化物、硫化物和氢氧化铵。

$$Bi_2S_3 + 6FeCl_3 = 2BiCl_3 + 6FeCl_2 + 3S$$

$$Bi_2S_3 + 3Fe_2(SO_4)_3 = Bi_2(SO_4)_3 + 6FeSO_4 + 3S$$

【$Bi(NO_2)_3$】　$Bi(NO_2)_3 = BiONO_3 + 2NO$

$$2Bi(NO_2)_3 + 2H_2O + O_2 = 2BiONO_3 + 4HNO_2$$

（$Bi(NO_2)_3$暴露在空气中的反应）

【$Bi(NO_3)_3$】　$4Bi(NO_3)_3 \xlongequal{\triangle} 2Bi_2O_3 + 12NO_2 + 3O_2\uparrow$

$$Bi(NO_3)_3 + 2H_2O \rightleftharpoons Bi(OH)_2NO_3 + 2HNO_3$$

$$Bi(OH)_2NO_3 + H_2O \xlongequal{反复水洗} Bi(OH)_3 + HNO_3$$

$$2Bi(OH)_2NO_3 + 12HCl \xlongequal{煮沸} 2BiCl_3 + 2NO + 3Cl_2 + 8H_2O$$

$$Bi(NO_3)_3 + H_2O \rightleftharpoons 2HNO_3 + BiONO_3\downarrow$$

$$2BiONO_3 + H_2O \rightleftharpoons Bi_2O_2(OH)NO_3 + HNO_3$$

$$Bi(NO_3)_3 + H_2SO_4 + H_2O = HBiOSO_4 + 3HNO_3$$

$$Bi(NO_3)_3 + 3KI = BiI_3 + 3KNO_3$$

（黑色）

$$BiI_3 + H_2O \xlongequal[用水稀释]{\triangle 55-80℃} BiOI\downarrow + 2HI$$

（红色）

$$4BiOI + 9HCl_{(浓)} = BiI_3 + 3BiCl_3 + HI + 4H_2O$$

【$BiONO_3$】　$12BiONO_3 + 10NaCl + H_2O \xlongequal{煮沸} Bi_{12}O_{13}Cl_{10} + 10NaNO_3 + 2HNO_3$

【$Bi_2(CO_3)_3$】　$Bi_2(CO_3)_3 + 4HCNS_{(10\%溶液)} + 9H_2O = 2[Bi(OH)(CNS)_2 \cdot 5H_2O] + 3CO_2$

（黄色结晶）

$$Bi_2(CO_3)_3(\text{过量}) + 6HCNS_{(10\%)} + 25H_2O \xrightarrow[\text{真空浓缩}]{\text{用}H_2SO_4} 2[Bi(CNS)_3 \cdot 14H_2O] + 3CO_2$$

（针状）

$$Bi_2(CO_3)_3 + 6HCNS + 6KCNS \xrightarrow[\text{浓缩}]{H_2SO_4} 2[K_3Bi(CNS)_6] + 3CO_2 + 3H_2O$$

（三棱形结晶）

$$Bi_2(CO_3)_3 + 6HCNS + 6NaCNS \xrightarrow{H_2SO_4} 2[Na_3Bi(CNS)_6] + 3CO_2 + 3H_2O$$

$$Bi_2(CO_3)_3 + 6HCNS + 6NH_4CNS \xrightarrow{H_2SO_4} 2[(NH_4)_3Bi(CNS)_6] + 3CO_2 + 3H_2O$$

[Bi^{3+}] $2Bi^{3+} + 3Zn = 3Zn^{2+} + 2Bi\downarrow$

$Bi^{3+} + 3OH^- = Bi(OH)_3\downarrow$

（白色胶性）

$2Bi^{3+} + 3H_2S = Bi_2S_3\downarrow + 6H^+$

$Bi^{3+} + 3I^- = BiI_3\downarrow$

（黑色）

$BiI_3 + I^- \rightleftharpoons [BiI_4]^-$

$Bi^{3+} + 3CN^- \rightleftharpoons Bi(CN)_3$

$Bi(CN)_3 + 3H_2O \rightleftharpoons Bi(OH)_3\downarrow + 3HCN$

$2Bi^{3+} + 3S^{2-} \rightleftharpoons Bi_2S_3\downarrow$

$Bi^{3+} + 2HPO_4^{2-} \rightleftharpoons H_2PO_4^- + BiPO_4\downarrow$

（白色结晶）

$2Bi^{3+} + 3S_2O_3^{2-} + 3H_2O = Bi_2S_3\downarrow + 3SO_4^{2-} + 6H^+$

（黑色）

$2Bi^{3+} + 3CO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2Bi(OH)CO_3\downarrow + CO_2\uparrow$

（白色）

$$2Bi^{3+} + 3HSnO_2^- + 6OH^- \xlongequal{冷却} 2Bi\downarrow + 3HSnO_3^- + 3H_2O$$

（适量）（黑色）

$$2Bi^{3+} + Cr_2O_7^{2-}(过量) + 2H_2O \equiv (BiO)_2Cr_2O_7\downarrow + 4H^+$$

（黄色）

$$2Bi^{3+} + 3C_2H_3OS^- + 3H_2O \xlongequal{煮沸} 3HC_2H_3O_2 + Bi_2S_3\downarrow + 3H^+$$

（醋酸）

第四章　碳族元素

4.1　碳　$2s^2 2p^2$　C = 12.011

【C】　$C + 2H_2 \xlongequal[1200℃]{Ni\text{催化}} CH_4\uparrow + 18\text{千卡}$

$C + 2F_2 \xlongequal{} CF_4$

$C + 2Cl_2 \xlongequal{\triangle} CCl_4$

$C + O_2 \xlongequal{\text{完全燃烧}} CO_2 + 94\text{千卡}$

$2C + O_2 \xlongequal{\text{空气不足}} 2CO + 26.4\text{千卡}$

$C_{(\text{白热})} + 2S_{(\text{蒸气})} \xlongequal{1200℃} CS_2$

注： 许多金属在高温下可与碳形成金属碳化物。常有以下类型：

M_2C_2型：M = Li、Na、K、Rb、Cs、Cu、Ag、Au

M_3C型：M = Mn、Fe、Co、Ni

MC_2型：M = Be、Ca、Sr、Ba、Zn、Cd

M_2C_6型：M = Al、Ge

MC_2型：M = Y、La、Ca、Pr、Nb、Sn

$C_{(\text{赤热})} + H_2O_{(\text{气})} \xlongequal{} CO\uparrow + H_2\uparrow - 31.38\text{千卡}$

$C + CO_2 \xlongequal{\text{高温}} 2CO\uparrow - 41.4\text{千卡}$

$C + 2H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\triangle} 2SO_2\uparrow + CO_2\uparrow + 2H_2O$

$$3C + 4HNO_3 \xlongequal{\triangle} 4NO\uparrow + 3CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$C_{(红热)} + 4HNO_{3(浓)} = 4NO_2\uparrow + CO_2\uparrow + 2H_2O$$

【CH_4】 $$2CH_4 \xrightarrow[1500℃]{电弧} C_2H_2 + 3H_2\uparrow$$

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{光} CH_3Cl + HCl$$

$$CH_3Cl + Cl_2 \xrightarrow{光} CH_2Cl_2 + HCl$$

$$CH_2Cl_2 + Cl_2 \xrightarrow{光} CHCl_3 + HCl$$

$$CHCl_3 + Cl_2 \xrightarrow{光} CCl_4 + HCl$$

$$CH_4 + 2O_2 \xlongequal{点燃} CO_2 + 2H_2O + 210.8千卡$$

$$CH_4 + O_2 \xrightarrow[氧气不足]{1000—1200℃} C + 2H_2O$$

$$CH_4 + O_2 \xrightarrow[500—600℃]{硼砂、一氧化氮} HCHO + H_2O$$

$$2CH_4 + O_2 \xrightarrow[350—470℃，1000—1200个大气压]{铜催化剂} 2CH_3OH$$

$$CH_4 + H_2O_{(气)} + 49千卡 \xrightarrow[催化剂]{1000℃} CO\uparrow + 3H_2\uparrow$$

$$2CH_4 + 2NH_3 + 3O_2 \xrightarrow[1050℃]{铂网} 2HCN + 6H_2O$$

$$CH_4 + CO_2 + 59千卡 \xrightleftharpoons{高温} 2CO + 2H_2$$

【CO】

$$\left.\begin{array}{l} nCO + 2nH_2 \xrightarrow[170—200℃]{Co催化剂} C_nH_{2n} + nH_2O \\ nCO + (2n+1)H_2 \longrightarrow C_nH_{2n+2} + nH_2O \end{array}\right\}$$

合成汽油 $n = 5$ 至 8

$$\left.\begin{array}{l} 2CO + 2H_2 \xrightarrow[常压，300℃]{Fe、Co或Ni} CH_4 + CO_2 \\ CO + 3H_2 \xrightarrow[常压，300℃]{Fe、Co或Ni} CH_4 + H_2O \end{array}\right\} 制取CH_4$$

$$CO + 2H_2 \xrightarrow[350-400℃]{Cr_2O_3、ZnO} CH_3OH$$

$$CO + Cl_2 \xrightarrow{光或活性炭催化} COCl_2 + 27千卡$$

（光气）

（F_2和Br_2有类似的反应）

$$COCl_2 + 2H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + 2HCl$$

$$2CO + O_2 \xlongequal{燃烧} 2CO_2 + 136千卡$$

$$CO + S_{(蒸气)} \overset{高温}{\rightleftharpoons} COS + 8千卡$$

$$COS + H_2O = CO_2 + H_2S$$

$$CO + NH_3 + 11千卡 \xlongequal[500℃]{ThO_2催化} HCN + H_2O$$

$$CO + H_2O_{(气)} \underset{Fe_2O_3}{\overset{400℃}{\rightleftharpoons}} CO_2 + H_2 + 10.2千卡$$

（煤气炉内发生的反应）

$$CO + H_2O \xlongequal{高温高压} HCOOH$$

$$CO + H_2O_{(水蒸气)} + CaO \xlongequal{500℃} CaCO_3 + H_2\uparrow + 53千卡$$

$$5CO + I_2O_5 = 5CO_2 + I_2$$

（此反应用于测定CO）

$$CO + NaOH \xlongequal{120℃，4个大气压} HCOONa$$

$$CO + 2NaOH \xlongequal{430℃} Na_2CO_3 + H_2$$

【CO_2】 $CO_2 + H_{2(气)} \rightleftharpoons CO\uparrow + H_2O\uparrow$

（986℃时，反应达到平衡）

$$CO_2 + 3H_2 \xlongequal{催化剂} CH_3OH + H_2O$$

$$CO_2 + C_{(红热)} \underset{400℃以下}{\overset{1000℃以上}{\rightleftharpoons}} 2CO$$

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{2-}$$

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{日光、叶绿素} C_6H_{12}O_6 + 6O_2\uparrow$$

（光合作用所发生的反应）

$$CO_2 + 2NaOH = Na_2CO_3 + H_2O$$

$$CO_2 + NaOH = NaHCO_3$$

$$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O$$

（用来检验CO_2的存在）

$$CO_2 + NH_3 + NaCl + H_2O = NaHCO_3 + NH_4Cl$$

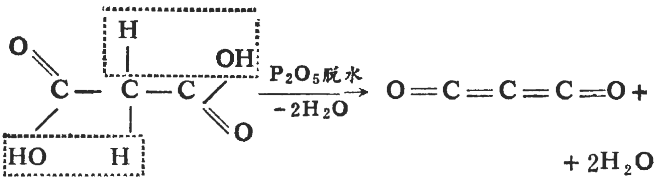
$$2NaHCO_3 \xrightarrow{加热至150℃} Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$

（氨碱法制碱的原理）

$$CO_2 + H_2O + NH_3 \rightleftharpoons NH_4HCO_3$$

【C_3O_2】（二氧化三碳） $C_3O_2 \xrightleftharpoons{40℃} CO_2 + 2C$

C_3O_2是无色有味气体、纯者较稳定。



【碳酸盐】 注：具体物质详见其他各章。

$$MCO_3 \xrightarrow{\triangle} MO + CO_2$$

（碱金属碳酸盐例外，如Na_2CO_3等，高温下也不会分解）

注：在碳酸盐中，除碱金属的正盐外，皆难溶于水。酸式碳酸盐中，常见的碱金属和碱土金属及少数其它二价金属的酸式盐（除$NaHCO_3$外）皆溶解于水。碳酸盐水解后溶液呈碱性：

$$M_2^{+1}CO_3 + H_2O \rightleftharpoons M^+OH + MHCO_3$$

$$M^+HCO_3 + H_2O \rightleftharpoons MOH + H_2CO_3$$

（M代表碱金属）

$$Na^+ + OH^- + CO_2 = Na^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$$

$$Na^+ + HCO_3^- + Na^+ + OH^- \rightleftharpoons 2Na^+ + CO_3^{2-} + H_2O$$

$$CO_3^{2-} + H_2O = HCO_3^- + OH^-$$

$$CO_3^{2-} + 2H^+ = H_2O + CO_2\uparrow$$

【碳的卤代物】 $CCl_4 + 2H_2O \xlongequal{Fe或Al} CO_2 + 4HCl$

$$CCl_4 + 2HF \xlongequal{SbCl_3催化} CCl_2F_2 + 2HCl$$

$$CCl_4 + AgClO_4 \xlongequal{HCl存在} Cl_3CClO_4 + AgCl$$

$$CBr_4 + 2H_2O \xlongequal[200℃]{真空内加热} CO_2 + 4HBr$$

$$2CI_4 \xlongequal{强热} C_2I_4 + 2I_2$$

$$CFCl_3(气) \xlongequal{紫外光线照射} CF_2Cl_2\uparrow + [Cl]$$

$$CF_2Cl_2(气) \xrightarrow{紫外光线照射} CF_3Cl\uparrow + [Cl]$$

【CS_2】 $2CS_2 + 5Cl_2 \xlongequal{碘催化} 2CSCl_4 + S_2Cl_2$

$$CS_2 + 2Cl_2 \xlongequal{FeS,\ 60℃} CCl_4 + 2S + 49千卡$$

$$CS_2 + 3Cl_2 \xlongequal{MnCl_2催化} CCl_4\uparrow + S_2Cl_2\uparrow$$

$$CS_2 + 3O_2 \xlongequal{燃烧} CO_2\uparrow + 2SO_2\uparrow$$

$$CS_2 + 4NH_3 = NH_4CNS + (NH_4)_2S$$

$$CS_2 + 2NH_3 + Ca(OH)_2 \xlongequal{煮沸} NH_4CNS + CaS\downarrow + 2H_2O$$

$$CS_2 + 2H_2O \xlongequal{150℃以上} CO_2 + 2H_2S + 11千卡$$

$$CS_2 + 3SO_3 = COS + 4SO_2$$
（碳酰硫）

$$CS_2 + PCl_5 \xlongequal{密闭\ 100℃} CSCl_2 + PSCl_3$$
（硫代光气）

$$5CS_2 + 4MnO_4^- + 12H^+ = 5CO_2 + 4Mn^{2+} + 10S + 6H_2O$$

【COS】 $2COS \xlongequal{\triangle} CO_2 + CS_2$

$$2COS \xlongequal{\triangle} 2CO + S_2$$

$$COS + 2NH_3 = NH_4OCS(NH_2)$$

$$NH_4OCS(NH_2) \xlongequal{\triangle} CO(NH_2)_2 + H_2S$$

$$COS + H_2O = CO_2 + H_2S$$

【$CSCl_2$】 $CSCl_2 + 2NH_3 = CS(NH_2)_2 + 2HCl$

4.2 硅 $3s^2 3p^2$ Si = 28.086

【Si】 $Si + 2H_2 = SiH_4$
（加热到Si的熔点以上才发生此反应）

$$Si + 2X_2 \xlongequal{\triangle} SiX_4$$

$(X_2 = \underset{(常温)}{F_2}、\underbrace{Cl_2、Br_2}_{(400—600℃)})$

$$Si_{(粉)} + O_2 \xlongequal{燃烧} SiO_2\text{（主要反应）}$$

$$2Si_{(粉)} + O_2 \xlongequal{燃烧} 2SiO + 32.6\text{卡}$$

$$Si + 2S_{(过量)} \xlongequal[150℃]{加热} SiS_2$$

$$3Si + 2N_2 \xlongequal{1300℃以上} Si_3N_4 + 157千卡$$

$$Si_3N_4 + 6H_2O \xlongequal{} 3SiO_2 + 4NH_3\uparrow$$

$$Si + C \xlongequal{高温} SiC$$

$$2Si + C + CaO \xlongequal{\triangle} CaSi_2 + CO$$

$$2Si + Ca \xlongequal{高温} CaSi_2 + 208.7卡$$

$$2Si + 2Ca \xlongequal{高温} Ca_2Si_2 + 166.3卡$$

$$Ca_2Si_2 \xlongequal{} CaSi_2 + Ca + 42.4卡$$

$$Ca_2Si_2 + 2Si \xlongequal{} 2CaSi_2 + 251.1卡$$

$$Si + 2Mg \xlongequal{550℃} Mg_2Si$$

$$Si + 2Mn \xlongequal[高温]{电炉内} SiMn_2$$

（反应的产物还有SiMn、Si_2Mn）

$$5Si + 5CaO \xlongequal{\triangle} 2CaSi_2 + (CaO)_3\cdot SiO_2$$

$$Si + 3FeO \xlongequal{} FeSiO_3 + 2Fe + 热$$

（炼铁炉内所发生的反应）

$$Si + SiO_2 \xlongequal{1000℃以上} 2SiO$$

$$Si + 2KOH + H_2O \xlongequal{\triangle} K_2SiO_3 + 2H_2\uparrow$$

$$Si + 4NaOH \xlongequal{\triangle} Na_4SiO_4 + 2H_2\uparrow$$

$$Si + 2NaOH + H_2O \xlongequal{} Na_2SiO_3 + 2H_2\uparrow$$

$$Si + 4HF_{(气)} \xlongequal{高温} SiF_4\uparrow + 2H_2\uparrow$$

$$Si_{(无定形)} + 3HCl_{(干燥气)} \xlongequal[300℃]{\triangle} SiH_3Cl + Cl_2$$

$$Si_{(无定形)} + 2HCl_{(干燥气)} \xlongequal{\triangle} SiH_2Cl_2$$

$$Si_{(结晶形)} + 3HCl_{(干燥气)} \xlongequal{300℃} SiHCl_3\uparrow + H_2\uparrow + Q$$

$$Si + 4HBr_{(气)} \xlongequal{360℃} SiBr_4 + 2H_2\uparrow$$

$$Si + 3HBr_{(气)} \xlongequal{360°以上} SiHBr_3 + H_2\uparrow$$

注： Si几乎不溶于包括氢氟酸在内的所有酸，但能溶于HNO_3—HF的混合酸中：

$$3Si + 4HNO_3 + 12HF \xlongequal{} 3SiF_4\uparrow + 4NO + 8H_2O$$

$$Si + 4HNO_3 + 6HF \xlongequal{} H_2SiF_6 + 4NO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$Si + 2CuSO_4 \xlongequal{} Si(SO_4)_2 + 2Cu$$

$$Si_{(硅铁粉)} + Ca(OH)_{2(干燥)} + 2NaOH_{(干燥)} \xlongequal{闷烧} Na_2SiO_3 + CaO + 2H_2\uparrow$$

$$2(Si—Fe) + 6HCl_{(干燥气)} \xlongequal{280—300℃} 2SiHCl_3 + 2Fe + 2H_2$$

【SiH_4】(硅烷)

$$SiH_4 + 2O_{2(空气)} \xlongequal{自燃} SiO_2 + 2H_2O + 341千卡$$

$$SiH_4 + (n+2)H_2O \xlongequal[催化]{OH^-} SiO_2\cdot nH_2O + 4H_2\uparrow$$

$$SiH_4 + 2H_2O \xlongequal{} SiO_2 + 4H_2$$

$$SiH_4 + 4OH^- \xlongequal{} SiO_4^{4-} + 4H_2$$

$$SiH_4 + 2OH^- + H_2O \xlongequal{} SiO_3^{2-} + 4H_2$$

(SiH_4对碱很敏感)

$$SiH_4 + HCl_{(气)} \xlongequal{} SiH_3Cl(或SiHCl_3、SiH_2Cl_2、SiCl_4) + H_2\uparrow$$

(在无水Al_2Cl_6催化下发生此反应)

$$SiHCl_3 + HCl_{(气)} \xlongequal{} SiH_2Cl_2 + Cl_2\uparrow$$

(在无水Al_2Cl_6催化下发生此反应)

$$SiH_4 + 4HgCl_2 + 2H_2O \xlongequal{} SiO_2 + 8HCl + 4Hg$$（或有 HgCl）

$$SiH_4 + 2KMnO_4 \xlongequal{} 2MnO_2\downarrow + K_2SiO_3 + H_2O + H_2\uparrow$$

【Si_2H_6】 $$Si_2H_6 + 4NaOH + 2H_2O \xlongequal{} 2Na_2SiO_3 + 7H_2\uparrow$$

【SiO_2】 $$SiO_2 + 2H_2 \xlongequal{1350—1400℃} Si + 2H_2O$$

$$SiO_2 + 2F_2 \xlongequal{} SiF_4 + O_2\uparrow$$

$$SiO_2 + 2C + 2Cl_2 \xlongequal{高温} SiCl_4\uparrow + 2CO\uparrow$$

$$SiO_2 + 3C \xlongequal{} SiC + 2CO\uparrow$$

（炼钢炉内2000℃以上发生的反应）

$$2SiC + SiO_2 \xlongequal{} 3Si + 2CO\uparrow$$

（在2000℃以上的高温下制取粗硅的反应）

$$SiO_2 + 2C \xlongequal{1050℃、Fe} Si + 2CO - Q$$

$$SiO_2 + 2C \xlongequal{1800℃} Si + 2CO\uparrow$$

（在电炉内制得粗硅）

$$Si_{(粗)} + 3HCl_{(干燥气)} \xlongequal{300℃} SiHCl_3 + H_2\uparrow + Q$$

$$SiHCl_{3(纯的)} + H_2 \xlongequal{950℃} Si_{(纯)} + 3HCl$$

（工业上制纯硅的方法）

$$SiO_2 + C \xlongequal{2000℃} SiO + CO$$

（所得产物需迅速冷却，否则发生歧化反应）

$$2SiO_{(蒸气)} \xlongequal{慢冷} Si + SiO_2$$（歧化反应）

$$SiO + 2NaOH \xlongequal{} Na_2SiO_3 + H_2$$

$$SiO_2 + Si \xlongequal{2000℃} 2SiO$$

（SiO黄棕色固体，工业上叫单氧硅）

$$3SiO_2 + 4M \xrightleftharpoons{\triangle} 2M_2SiO_3 + Si$$

$$M_2SiO_3 + 4M \xrightleftharpoons{\triangle} 3M_2O + Si$$

$$SiO_2 + 2Mg \xlongequal{\text{燃烧}} 2MgO + Si + 89\text{千卡}$$

$$Si + 2Mg \xlongequal{\triangle} Mg_2Si$$

$$SiO_2 + Mg \xlongequal{\triangle} SiO + MgO$$

$$SiO_2 + M_2O \xlongequal{\text{共熔}} M_2SiO_3$$

（M_2SiO_3偏硅酸盐，M表示碱金属）

$$SiO_2 + 2M_2O \xlongequal{\text{共熔}} M_4SiO_4$$

（M_4SiO_4硅酸盐，M表示碱金属）

$$SiO_2 + Na_2O \xlongequal{\triangle} Na_2SiO_3$$

$$SiO_2 + CaO \xlongequal{\text{高温}} CaSiO_3$$

$$3SiO_2 + 2MgO + 2MgCl_2 \xlongequal{\triangle} 2Mg_2SiO_4 + SiCl_4$$

$$3SiO_2 + 3CaO\cdot P_2O_5 \xlongequal{\text{炼铁炉内}} 3(CaO\cdot SiO_2)P_2O_5 - Q$$

$$3SiO_2 + 2Ca_3(PO_4)_2 + 10C \xlongequal{\text{高温}} 3Ca_2SiO_4 + 10CO + 4P$$

$$2SiO_2 + 3Al_2O_3 \xlongequal{2000℃} 3Al_2O_3\cdot 2SiO_2$$

$$SiO_2 + 4NaOH \xlongequal[1120℃]{\text{强热}} Na_4SiO_4 + 2H_2O$$

$$2SiO_2 + 2NaOH \xlongequal{874℃} Na_2Si_2O_5 + H_2O$$

$$SiO_2 + 2NaOH \xrightleftharpoons{1089℃} Na_2SiO_3 + H_2O$$

（腐蚀玻璃的反应，常温反应慢）

$$SiO_2 + 2Ca(OH)_2 \xrightleftharpoons{30℃} Ca_2SiO_4 + 2H_2O \text{(反应很慢)}$$

$$SiO_2 + 6NaF + 4HCl = Na_2SiF_6 + 4NaCl + 2H_2O$$

$$SiO_2 + 2CaF_2 + 2H_2SO_4\text{(浓)} = SiF_4 + 2CaSO_4 + 2H_2O$$

$$3SiO_2 + 3CaF_2 \xlongequal{\text{熔融}} CaSiF_6 + 2CaSiO_3$$

$$3SiO_2 + 2MgCl_2 \xlongequal[\triangle]{\text{加}NH_4Cl} 2MgSiO_3 + SiCl_4$$

$$2SiO_2 + 4NaHF_2 + 4HF = 2Na_2SiF_6 + 4H_2O$$

$$SiO_2 + Na_2SO_4 \xlongequal{\text{熔化}} Na_2SiO_3 + SO_3\uparrow$$

$$SiO_2 + MgSO_4 = MgSiO_3 + SO_3$$

$$SiO_2 + MgSO_4 + CaSO_4 = MgCaSiO_4 + 2SO_3\uparrow$$

$$SiO_2 + CaSO_4 \xlongequal{\triangle} CaSiO_3 + SO_3\uparrow$$

$$2SiO_2 + 4KNO_3 \xlongequal{\text{高温}} 2K_2SiO_3 + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$SiO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{\text{熔化}} Na_2SiO_3 + CO_2\uparrow$$

$$SiO_2 + CaCO_3 \xlongequal{\text{高温}} CaSiO_3 + CO_2\uparrow$$

$$6SiO_2 + 3Na_2Ca(CO_3)_2 = Na_2Ca_2(SiO_3)_3 + Na_4Ca(SiO_3)_3 + 6CO_2$$

$$SiO_2 + Na_2SiO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2Si_2O_5$$

$$2SiO_2 + CaC_2 + 2C \xlongequal{\triangle} CaSi_2 + 4CO\uparrow$$

【H_2SiO_3】 $H_2SiO_3 \xlongequal{\triangle} SiO_2 + H_2O$

$$H_2SiO_3 + 2NaOH = Na_2SiO_3 + 2H_2O$$

$$H_2SiO_3 + 2NH_4OH = (NH_4)_2SiO_3 + 2H_2O$$

$$H_2SiO_3 + 6HF = H_2[SiF_6] + 3H_2O$$

$$H_2SiO_3 + 4HCl + 6KF = K_2SiF_6\downarrow + 4KCl + 3H_2O$$

$$H_2SiO_3 + 2K^+ + 6F^- + 4H^+ = K_2SiF_6\downarrow + 3H_2O$$

$$H_2SiO_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{\text{煮沸}} Na_2SiO_3 + H_2O + CO_2\uparrow$$

【H_4SiO_4】 $H_4SiO_4 \xlongequal{\text{烘干}} H_2SiO_3 + H_2O$

$$H_4SiO_4 \xlongequal{\text{烘干}} SiO_2 + 2H_2O$$

（H_4SiO_4烘干还可以生成 $H_2Si_2O_5$、$H_4Si_3O_8$、$H_2Si_5O_{11}$、$H_2Si_9O_{19}$）

$$H_4SiO_4 + 6HF = H_2SiF_6 + 4H_2O$$

$$H_4SiO_4 + 12H_2MoO_4 = \underset{\text{（硅钼黄）}}{H_8[Si(Mo_2O_7)_6]} + 10H_2O$$

$$H_8[Si(Mo_2O_7)_6] + 4FeSO_4 + 2H_2SO_4 =$$

$$\underset{\text{（硅钼蓝）}}{H_8\left[Si\begin{matrix}\diagup(Mo_2O_7)_5\\ \diagdown(Mo_2O_5)\end{matrix}\right]} + 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

【Na_2SiO_3】 $Na_2SiO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons 2NaOH + H_2SiO_3$

$$2Na_2SiO_3 + H_2O = \underset{\text{（二偏硅酸钠）}}{Na_2Si_2O_5} + 2NaOH$$

$$Na_2SiO_3 + 2H_2O = NaH_3SiO_4 + NaOH$$

$$2Na_2SiO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons Na_2Si_2O_5\cdot H_2O + 2NaOH$$

$$Na_2SiO_3 + CO_2 + H_2O = H_2SiO_3\downarrow + Na_2CO_3$$

$$Na_2SiO_3 + 2NaOH \rightleftharpoons Na_4SiO_4 + H_2O$$

$$2Na_2SiO_3 + 2NaOH \rightleftharpoons Na_6Si_2O_7 + H_2O$$

$$Na_6Si_2O_7 + 2NaOH \rightleftharpoons 2Na_4SiO_4 + H_2O$$

$$Na_2SiO_3 + Cd(OH)_2 \xlongequal{\triangle} 2NaOH + CdSiO_3$$

$$Na_2SiO_3 + 6HF = 2NaF + SiF_4\uparrow + 3H_2O$$

$$Na_2SiO_3 + 6HF = Na_2SiF_6 + 3H_2O$$

$$Na_2SiO_3 + 2HCl = H_2SiO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2SiO_3 + 2HCl + H_2O = H_4SiO_4 + 2NaCl$$

$$Na_2SiO_3 + H_2SO_4 = H_2SiO_3 + Na_2SO_4$$

$$Na_2SiO_3 + CaCl_2 = CaSiO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2SiO_3 + BaCl_2 = \underset{\text{(白色)}}{BaSiO_3}\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2SiO_3 + 2NH_4Cl + 2H_2O = H_2SiO_3\downarrow + 2NH_4OH + 2NaCl$$

$$Na_2SiO_3 + 2NH_4Cl = H_2SiO_3 + 2NaCl + 2NH_3\uparrow$$

总之：$SiO_3^{2-} + 2NH_4^+ \rightleftharpoons H_2SiO_3 + 2NH_3\uparrow$

$$2Na_2SiO_3 + 4CuSO_4 + 6H_2O \xlongequal{\text{沸点}} (CuO)_4SO_3\cdot 3H_2O + 2Na_2SO_4 + H_2SO_4 + 2H_2SiO_3$$

$$Na_2SiO_3 + 2AgNO_3 \rightleftharpoons \underset{\text{(黄色)}}{Ag_2SiO_3}\downarrow + 2NaNO_3$$

$$4Na_2SiO_3 + 3MgCO_3 + H_2O \xlongequal{100—200℃} Mg_3Si_4O_{11} + 3Na_2CO_3 + 2NaOH$$

$$Na_2SiO_3 + (NH_4)_2CO_3 + 2H_2O = 2NH_4OH + Na_2CO_3 + SiO_2\cdot H_2O$$

【SiF_4】 $SiF_4 + 2H_2 = 4HF + Si\downarrow$

$$3SiF_4 + Si \xlongequal{\text{高温}} 2Si_2F_6$$

$$SiF_4 + 4H_2O = H_4SiO_4 + 4HF$$

$$3SiF_{4(\text{气})} + 2H_2O = 2H_2SiF_6 + SiO_2$$

$$3SiF_4 + 3H_2O = 2H_2SiF_6 + H_2SiO_3$$

$$3SiF_4 + 4H_2O = 2H_2SiF_6 + H_4SiO_4$$

$$H_2SiF_6 \xlongequal{\triangle} 2HF\uparrow + SiF_4\uparrow$$

$$SiF_4 + 2HF = H_2[SiF_6]$$

（六氟络硅酸）

【$SiCl_4$】 $$SiCl_4 + 2H_2 \xlongequal{1100℃} Si + 4HCl\uparrow$$

（工业上制纯硅的方法）

$$3SiCl_4 + Si \xlongequal{高温} 2Si_2Cl_6$$

$$SiCl_4 + 4Na \xlongequal{红热} 4NaCl + Si$$

$$3SiCl_4 + 4Al \xlongequal{高温} 4AlCl_3 + 3Si$$

$$SiCl_4 + 4H_2O = H_4SiO_4 + 4HCl\uparrow$$

（$SiCl_4$在潮湿空气中冒白色烟雾的原因）

$$2SiCl_4 + H_2O \xlongequal{热瓷管中} Si_2OCl_6 + 2HCl$$

$$SiCl_4 + 4SO_3 = SiO_2 + 2S_2O_5Cl_2$$

$$2SiCl_4 + 2SO_3 = Si_2OCl_6 + S_2O_5Cl_2$$

$$6SiCl_4 + P_2O_{5(高热)} = 2POCl_3 + 3Si_2OCl_6$$

$$3SiCl_4 + 2P_2O_5 = 3SiO_2 + 4POCl_3$$

$$SiCl_4 + 3K_2O \xlongequal{熔化} K_2SiO_3 + 4KCl$$

$$3SiCl_4 + 2Al_2O_3 = 3SiO_2 + 4AlCl_3 + 28千卡$$

$$3SiCl_4 + 2Fe_2O_3 \rightleftharpoons 4FeCl_3 + 3SiO_2$$

$$SiCl_4 + 3PbO_{(热)} \xlongequal{灼烧} 2PbCl_2 + PbSiO_3$$

$$SiCl_4 + 2Ag_2O = 4AgCl\downarrow + SiO_2$$

$$SiCl_4 + 4NH_3 = Si(NH_2)_4 + 4HCl$$

$$SiCl_4 + 4NH_{3(苯溶液)} = Si(NH_2)_4 + 4HCl$$

$$Si(NH_2)_4 = Si(NH)_2 + 2NH_3$$

$$SiCl_4 + H_2S = SiCl_3SH + HCl$$

$$6SiCl_4 + 7SbF_3 \xlongequal{五氯化锑催化} SiFCl_3 + SiF_2Cl_2 + SiF_3Cl + 3SiF_4 + 5SbCl_3 + SbFCl_2 + SbF_2Cl$$

$$SiCl_4 + 4NH_4SCN = Si(SCN)_4 + 4NH_4Cl$$

$$3SiCl_4 + 2Na_2CO_3 = 2Na_2SiCl_6 + SiO_2 + 2CO_2$$

$$SiCl_4 + 4AgNCO \xlongequal[\text{纯苯中}]{\triangle} Si(NCO)_4 + 4AgCl$$

【Si_2Cl_6】 $2Si_2Cl_6 + O_2 \xlongequal{250℃} 3SiCl_4 + SiO_2$

$$Si_2Cl_6 + 4H_2O = H_2Si_2O_4 + 6HCl$$

$$Si_2Cl_6 + 10NaOH \xlongequal{\text{振摇}} 2Na_2SiO_3 + 6NaCl + H_2\uparrow + 4H_2O$$

$$Si_2Cl_6 + 3ZnF_{2(\text{无水})} \xlongequal{\text{徐徐加热}} Si_2F_6 + 3ZnCl_2$$

【Si_2I_6】 $Si_2I_6 + 3HgCl_2 = Si_2Cl_6 + 3HgI_2$

【SiS】 $SiS + 3HCl_{(\text{干燥气})} = SiHCl_3 + H_2S\uparrow$

【SiS_2】 $SiS_2 + 2H_2O = SiO_2 + 2H_2S$

$$SiS_2 + 4NH_{3(\text{液体})} = Si(NH)_2 + 2NH_4SH$$

$$SiS_2 + Na_2S \xlongequal{\text{共熔}} Na_2SiS_3$$

【SiC】 $SiC + \underset{(\text{熔融})}{4KOH} + 2O_2 = K_2SiO_3 + K_2CO_3 + 2H_2O$

【Mg_2Si】 $Mg_2Si + 4H^+ = 2Mg^{2+} + SiH_4\uparrow$

$$Mg_2Si + 4HCl = 2MgCl_2 + SiH_4\uparrow$$

$$4Mg_2Si + 16HCl = Si_4H_{10} + 8MgCl_2 + 3H_2\uparrow$$

$$2Mg_2Si + 8NH_4Cl + 3H_2O = 4MgCl_2 + Si_2H_2O_3 + 8NH_3\uparrow + 6H_2\uparrow$$

$$Mg_2Si + 4NH_4Br \xlongequal{\text{低温}} SiH_4 + 2MgBr_2 + 4NH_3$$

$$2Mg_2Si + 8NH_4Br \xlongequal{\text{低温}} Si_2H_6 + 4MgBr_2 + 8NH_3 + H_2$$

【$SiHF_3$】 $2SiHF_3 + 4H_2O = H_4SiO_4 + H_2SiF_6 + 2H_2$

$$SiHF_3 + 3NaOH + H_2O = 3NaF + H_4SiO_4 + H_2\uparrow$$

【H_2SiF_6】（六氟络硅酸）　$H_2SiF_6 \xlongequal{\triangle} 2HF\uparrow + SiF_4\uparrow$

$$H_2SiF_6 + 4H_2O = \underset{\text{(正硅酸)}}{H_4SiO_4} + 6HF$$

$$H_2SiF_6 + MgO + 5H_2O = MgSiF_6\cdot 6H_2O\downarrow$$

$$H_2SiF_6 + ZnO + 5H_2O \xlongequal{\text{乙醇}} ZnSiF_6\cdot 6H_2O\downarrow$$

$$H_2SiF_6 + PbO + 3H_2O = \underset{\text{(结晶)}}{PbSiF_6\cdot 4H_2O}$$

$$H_2SiF_6 + 6NaOH = 6NaF + H_4SiO_4 + 2H_2O$$

$$H_2SiF_6 + 6NaOH = 6NaF + SiO_2\downarrow + 4H_2O$$

$$H_2SiF_6 + 2NaOH = Na_2SiF_6 + 2H_2O$$

$$H_2SiF_6 + 2Al(OH)_3 = 2AlF_3 + SiO_2\cdot 4H_2O$$

$$H_2SiF_6 + 2NaCl = Na_2SiF_6\downarrow + 2HCl$$

$$H_2SiF_6 + 2KCl = K_2SiF_6\downarrow + 2HCl$$

$$H_2SiF_6 + 2KNO_3 + 2NaOH = K_2SiF_6 + 2NaNO_3 + 2H_2O$$

$$H_2SiF_6 + 2KNO_3 = K_2SiF_6 + 2HNO_3$$

$$H_2SiF_6 + 3Na_2CO_3 = 6NaF + SiO_2\cdot H_2O\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

$$H_2SiF_6 + Na_2CO_3 = Na_2SiF_6 + H_2O + CO_2\uparrow$$

【SiH_3Cl】　$3SiH_3Cl + 4NH_{3\text{(过量)}} = (SiH_3)_3N + 3NH_4Cl$

$$2SiH_3Cl + H_2O = H_3SiOSiH_3 + 2HCl$$

$$SiH_3Cl + 3NaOH = Na_2SiO_3 + NaCl + 3H_2\uparrow$$

【$SiHCl_3$】　$SiHCl_3 + H_2 \xlongequal[1150℃]{\text{高温}} Si + 3HCl$

$$2SiHCl_3 + 9NH_{3\text{(过量)}} = (SiHNH)_2NH + 6NH_4Cl$$

$$SiHCl_3 + HCl_{\text{(气)}} \xlongequal[\triangle]{Al_2Cl_6} SiH_2Cl_2 + Cl_2$$

$$4SiHCl_3 + 3SnF_4 = 4SiHF_3 + 3SnCl_4$$

$$SiHCl_3 + SbF_3 \xrightarrow[\text{徐徐加温}]{\text{五氟化锑催化}} SiHF_3 + SbCl_3$$

$$4SiHCl_3 + 3TiF_4 = 4SiHF_3 + 3TiCl_4$$

【SiH_3NH_2】 $SiH_3NH_2 + 2HCl_{(气)} \xrightarrow{\text{室温}} SiH_3Cl + NH_4Cl$

【$(SiH_3)_3N$】 $(SiH_3)_3N + 6H_2O = 3SiO_2\downarrow + NH_3 + 9H_2$

$$(SiH_3)_3N + 4HCl_{(气)} \xrightarrow{\text{室温}} 3SiH_3Cl + NH_4Cl$$

【K_2SiF_6】 $3K_2SiF_6 + 4Al \xrightarrow{\text{高温}} 2K[AlF_4] + 2K_2[AlF_5] + 3Si$

$$K_2SiF_6 + 3H_2O_{(热)} \rightleftharpoons H_2SiO_3 + 2KF + 4HF$$

$$K_2SiF_6 + 4NaOH = Si(OH)_4 + 4NaF + 2KF$$

$$K_2SiF_6 + 4KOH = SiO_2 + 6KF + 2H_2O$$

【Na_2SiF_6】 $Na_2SiF_6 \underset{}{\overset{450℃}{\rightleftharpoons}} 2NaF + SiF_4$

$$Na_2SiF_6 + 4NH_3 + 3H_2O = H_2SiO_3 + 4NH_4F + 2NaF$$

$$Na_2SiF_6 + 4NaOH \rightleftharpoons 6NaF + H_4SiO_4$$

$$Na_2SiF_6 + 4NH_4OH \rightleftharpoons 2NaF + 4NH_4F + Si(OH)_4$$

$$Na_2SiF_6 + 2HF_{(液体)} = 2NaHF_2 + SiF_4$$

$$Na_2SiF_{6(固)} + H_2SO_{4(浓)} \xrightarrow{\triangle} SiF_4 + 2HF + Na_2SO_4$$

$$Na_2SiF_6 + BaCl_2 \rightleftharpoons \underset{(白色)}{BaSiF_6}\downarrow + 2NaCl$$

【$ZnSiF_6$】 $ZnSiF_6 + 4NaOH \rightleftharpoons ZnF_2 + 4NaF + SiO_2 + 2H_2O$

$$ZnF_2 + 2H_2O \rightleftharpoons Zn(OH)_2\downarrow + 2HF$$

【$BaSiF_6$】 $BaSiF_6 \xrightarrow{\triangle} BaF_2 + SiF_4$

$$BaSiF_6 + H_2SO_{4(浓)} \rightleftharpoons H_2SiF_6 + BaSO_4\downarrow$$

附：硅酸盐工业

【水泥】 $\underset{(高岭土)}{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O} \xrightarrow{450—600℃}$

$$Al_2O_3 + 2SiO_2 + 2H_2O\uparrow$$

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + CaO \xlongequal{\triangle} CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$$

水泥熟料的组成：

$3CaO \cdot SiO_2$　　硅酸三钙　C_3S

$2CaO \cdot SiO_2$　　硅酸二钙　C_2S

$3CaO \cdot Al_2O_3$　　铝酸三钙　C_3A

$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ 铁铝酸四钙 C_4AF

水泥的凝结与硬化：C_3S、C_2S、水化生成胶态水化硅酸钙：

$$3CaO \cdot SiO_2 + xH_2O \longrightarrow mCaO \cdot SiO_2 \cdot x'H_2O + (3-m)Ca(OH)_2$$

$$2CaO \cdot SiO_2 + zH_2O \longrightarrow nCaO \cdot SiO_2 \cdot z'H_2O + (2-n)Ca(OH)_2$$

C_3A、C_4AF 水化后生成水化硅酸钙、水化铁酸钙晶体：

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 6H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$$

$$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + zH_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + CaO \cdot Fe_2O_3 + (z-6)H_2O$$

由于水泥中有 $Ca(OH)_2$ 和 $CaSO_4$ 故还可以有下列反应：

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + 3CaSO_4 + 25H_2O = 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$$

（水化硫铝酸钙）

$$CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot (z-6)H_2O + 2Ca(OH)_2 + pH_2O = 3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot (z-4+p)H_2O$$

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O + Ca(OH)_2 + 12H_2O = 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O$$

【陶瓷砖瓦】　坯体升温排气：

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \xlongequal{500℃} Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O\uparrow$$

$$CaCO_3(MgCO_3) \xrightarrow{煅烧} CaO(MgO) + 2CO_2\uparrow$$

$$4FeS_2 + 11O_2 \xrightarrow{煅烧} 2Fe_2O_3 + 8SO_2\uparrow$$

高温烧结：

$$3(Al_2O_3\cdot 2SiO_2) \xrightarrow{1000℃以上} 3Al_2O_3\cdot 2SiO_2 + 4SiO_2$$

烧结时控制窑内气氛：

氧化性气氛：

$$\left.\begin{array}{l} 6Fe_2O_3 = 4Fe_3O_4 + O_2\uparrow \\ 2Fe_2O_3 = 4FeO + O_2\uparrow \end{array}\right\}产品呈红色$$

$$CaSO_4 = CaO + SO_3\uparrow$$

还原性气氛：

$$Fe_2O_3 + CO = 2FeO + CO_2\uparrow$$

$$2Fe_2O_3 + C = 4FeO + CO_2\uparrow$$

$$CaSO_4 + CO = CaSO_3 + CO_2\uparrow$$

$$\quad \longrightarrow CaO + SO_2\uparrow$$

封闭喷水使产品变青色

【玻璃】 生产中的主要反应：

$$CaCO_3 + Na_2CO_3 \xrightarrow{600℃} CaNa_2(CO_3)_2$$

$$CaNa_2(CO_3)_2 + 2SiO_2 \xrightarrow{680℃} Na_2SiO_3 + CaSiO_3 + 2CO_2$$

$$CaNa_2(CO_3)_2 + Na_2CO_3 + 3SiO_2 \xrightarrow{800℃} 2Na_2SiO_3 + CaSiO_3 + 3CO_2\uparrow$$

$$CaCO_3 + SiO_2 \xrightarrow{900℃} CaSiO_3 + CO_2\uparrow$$

$$CaO + SiO_2 \xrightarrow{1010℃} CaSiO_3$$

总反应：

$$CaCO_3 + Na_2CO_3 + 6SiO_2 \xlongequal{熔融} Na_2CaSi_6O_{14} + 2CO_2\uparrow$$

（或 $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$）

（普通玻璃）

或：$$Na_2SO_4 + CaCO_3 + C + 6SiO_2 \xlongequal{熔融} Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2 + SO_2\uparrow + CO_2\uparrow + CO\uparrow$$

$$\underset{(玻璃)}{Na_2CaSi_6O_{14}} + 28HF = 2NaF + CaF_2\downarrow + 6SiF_4\uparrow + 14H_2O$$

4.3　锗　$4s^24p^2$　Ge＝72.59

[Ge]

$$Ge + 2H_2 \xlongequal{750—800℃} GeH_4$$

$$Ge + 2Cl_2 \xlongequal[(在氮的气流下)]{80—180℃} GeCl_4$$

$$Ge + 2Br_2 \xlongequal{220℃} GeBr_4$$

$$Ge + 2I_2 \xlongequal[(在 CO_2 气流下)]{360℃} GeI_4$$

$$Ge + I_2 \xlongequal{同上} GeI_2$$

$$GeI_2 + I_2 = GeI_4$$

$$Ge + O_2 \xlongequal{强热} GeO_2$$

$$Ge + S = GeS$$

$$Ge + 2H_2O_2 \xlongequal{100℃} GeO_2 + 2H_2O$$

$$3Ge + 2SO_2 \xlongequal{350℃} 2GeO_2 + GeS_2$$

$$3Ge + 4NH_3 \xlongequal{700℃} Ge_3N_4 + 6H_2\uparrow$$

$$Ge_{(粉)} + 3HCl = GeHCl_3 + H_2\uparrow$$

$$Ge + 4HCl = GeCl_4 + 2H_2\uparrow$$

$$3Ge_{(热)} + 10HCl_{(气)} = 2GeHCl_3 + GeCl_4 + 4H_2\uparrow$$

$$Ge + H_2S \xlongequal{350℃} GeS + H_2\uparrow$$

$$Ge + 4H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} Ge(SO_4)_2 + 2SO_2\uparrow + 4H_2O$$

（和稀H_2SO_4无反应）

$$Ge + 4HNO_3 = GeO_2 + 4NO_2 + 2H_2O$$

$$Ge + 4HNO_{3(浓)} = H_2GeO_3\downarrow + 4NO_2 + H_2O$$

$$3Ge + 4HNO_{3(稀)} + H_2O = 3H_2GeO_3\downarrow + 4NO\uparrow$$

$$Ge + 4HgCl \xlongequal{\triangle} GeCl_4 + 4Hg$$

$$Ge + 2HgBr_2 \xlongequal{\triangle} GeBr_4 + 2Hg$$

$$Ge + 4HgBr_2 \xlongequal{\triangle} GeBr_4 + 4HgBr$$

【GeH】

$$2GeH + 5Cl_{2(干气)} = 2GeCl_4 + 2HCl$$

$$2GeH + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 = 2GeO_2 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 4H_2O$$

【GeH_4】

$$2GeH_4 + 3HCl \xlongequal{催化剂} GeH_3Cl + GeH_2Cl_2 + 3H_2\uparrow$$

$$2GeH_4 + 3HI \xlongequal{催化剂} GeH_3I + GeH_2I_2 + 3H_2\uparrow$$

$$GeH_4 + 4AgNO_3 = Ag_4Ge\downarrow + 4HNO_3$$

【GeO】 **注：**GeO为两性，但碱性较强。

$$GeO + 2NaOH_{(过量)} = Na_2GeO_2 + H_2O$$

（黄色）　　　　　　　　（亚锗酸钠）

$$GeO + 2HCl = GeCl_2 + H_2O$$

【GeO_2】 **注：**GeO_2为两性，但以酸性为主。

$$GeO_2 + 2H_2 \xlongequal[700℃]{\triangle} Ge + 2H_2O$$

$$GeO_2 + 4HF_{(浓)} = GeF_4 + 2H_2O$$

$$GeO_2 + 6HF_{(20\%)} = H_2GeF_6 + 2H_2O$$

$$GeO_2 + 4HCl = GeCl_4 + 2H_2O$$

$$GeO_2 + 4HI \xlongequal{160℃} \underset{(红色)}{GeI_4} + 2H_2O$$

$$GeO_2 + 2H_2S \xlongequal{加 H_2SO_4} GeS_2\downarrow + 2H_2O$$

$$2GeO_2 + 5H_2S \xlongequal{无水乙醇中} H_2Ge_2S_5 + 4H_2O$$

$$2GeO_2 + 5H_2S + 2CH_3COOK = K_2Ge_2S_5 + 2CH_3COOH + 4H_2O$$

$$3GeO_2 + 4NH_{3(过量)} \xlongequal{700℃} Ge_3N_4 + 6H_2O$$

$$GeO_2 + 2NaOH = Na_2GeO_3 + H_2O$$

$$GeO_2 + BaCl_2 + 6HF = BaGeF_6 + 2HCl + 2H_2O$$

$$GeO_2 + K_2CO_3 + 6HF_{(纯)} = K_2GeF_6\downarrow + CO_2 + 3H_2O$$

$$GeO_{2(热)} + 2COCl_2 = GeCl_4 + 2CO_2\uparrow$$

【$Ge(OH)_2$】 $Ge(OH)_2 + 2NaOH = Na_2GeO_2 + 2H_2O$

（OH^-离子应适量）

$$Ge(OH)_2 + NaOH = NaHGeO_2 + H_2O$$

$$Ge(OH)_2 + 2HI \xlongequal{40℃以下} GeI_2\downarrow + 2H_2O$$

注：$Ge(OH)_2$显两性。

【$Ge(OH)_4$】 $2Ge(OH)_4 + 5H_2S + 2KC_2H_3O_2 = K_2Ge_2S_5 + 2HC_2H_3O_2 + 8H_2O$

【$NaHGeO_3$】 $NaHGeO_3 + H_2O = NaOH + H_2GeO_3$

【$NaHGeO_2$】 $NaHGeO_2 + NaOH = Na_2GeO_3 + H_2$

【GeX_2】（X表示卤素） $2GeCl_2 \xlongequal{\triangle} GeCl_4 + Ge$

$$GeCl_2 + 2H_2O = Ge(OH)_2\downarrow + 2HCl$$

$$GeCl_2 + 2NaOH = 2NaCl + Ge(OH)_2\downarrow$$

$$Ge(OH)_2 \rightleftharpoons GeO \cdot H_2O \downarrow$$
（黄色）

（用NH_4OH亦有类似的反应）

$$GeCl_2 + HCl_{(气)} \xlongequal{50-70℃} GeHCl_3$$

$$GeCl_2 + H_2S \xlongequal{常温} GeS + 2HCl$$

$$GeI_2 + 3NH_3 \xlongequal[(1个大气压)]{-33.5℃} GeNH + 2NH_4I$$

$$GeI_2 + HI \xlongequal{} GeHI_3$$

【GeX_4】（X表示卤素）

$$2GeF_4 + 2H_2O \xlongequal{} H_2GeF_6 + GeO_2 + 2HF$$
（蒸气）

$$GeF_4 + 2KF \xlongequal{} K_2[GeF_6]$$

$$GeCl_4 + 2H_2 \xlongequal{\triangle} Ge + 4HCl$$

$$GeCl_4 + Ge \xlongequal{\triangle} 2GeCl_2$$

$$GeCl_4 + 6NH_{3(液体氨)} \xlongequal{} Ge(NH)_2 + 4NH_4Cl$$

$$GeCl_{4(液)} + 6NH_3 \xlongequal{} GeCl_4 \cdot 6NH_3$$

$$GeCl_4 \cdot 6NH_3 + 4H_2O \xlongequal{} GeCl_4 \cdot (NH_3)_4 \cdot 4H_2O + 2NH_3$$

$$GeCl_4 + 4H_2O \rightleftharpoons GeO_2 \cdot 2H_2O + 4HCl$$

$$GeCl_4 + 2H_2O_{(气)} \xlongequal{} GeO_2 + 4HCl$$

$$GeCl_4 + 2SO_3 + 2H_2O \xlongequal{} Ge(SO_4)_2 + 4HCl$$

$$GeCl_4 + 2H_2S \xlongequal{} GeS_2 \downarrow + 4HCl$$

$$GeCl_4 + 4C_6H_5MgBr \xlongequal{四氢呋喃} (C_6H_5)_4Ge + 2MgCl_2 + 2MgBr_2$$
（溴化苯基镁）

$$GeBr_4 + 4H_2O \xlongequal{} Ge(OH)_4 \downarrow + 4HBr$$

$$GeBr_4 + 4KOH \xlongequal{} K_4GeO_4 + 4HBr$$

$GeBr_4 + 6NaOH$(定量)$= Na_2GeO_3 + 4NaBr + 3H_2O$

$GeI_4 + 2H_2O = GeO_2\downarrow + 4HI$

【GeS】　$GeS + S^{2-} + S = [GeS_3]^{2-}$

$GeS + 2NaOH = Na_2GeOS + H_2O$

$GeS + 2HI = GeI_2 + H_2S$

$GeS + Na_2S = Na_2GeS_2$

$GeS + (NH_4)_2S_2 = (NH_4)_2GeS_3$

【GeS_2】　$GeS_2 \xrightarrow[\triangle]{H_2\text{气流}} GeS + S$

$GeS_2 + Ge = 2GeS$
(红色)

$GeS_2 + 2H_2O = GeO_2 + 2H_2S$

GeS_2(氨性溶液)$+ 6H_2O_2 = GeO_2 + 2SO_2 + 6H_2O$

$3GeS_2 + 4NH_4OH = GeO_2S(NH_4)_2 + (NH_4)_2GeS_3 + 2H_2O$

$GeS_2 + 4HNO_3 = GeO_2 + 2SO_2\uparrow + 4NO + 2H_2O$

$GeS_2 + Na_2S \rightleftharpoons Na_2GeS_3$
(硫锗酸钠)
(加浓酸反应向左移，因放出H_2S)

【$GeHCl_3$】(氯代锗烷)　$2GeHCl_3 \xrightarrow[140-175℃]{\triangle} 2GeCl_2 + 2HCl\uparrow$

$2GeHCl_3 \xrightarrow[140℃-175℃]{\triangle} GeCl_4 + Ge + 2HCl$

$GeHCl_3 + I_2 = GeICl_3 + HI$

$GeHCl_3 + 2H_2O$(无O_2)$= Ge(OH)_2\downarrow + 3HCl$
(橙色)

$GeHCl_3 + (x+1)H_2O = GeO\cdot xH_2O + 3HCl$

$GeHCl_3 + 3NaOH = Ge(OH)_2\downarrow + 3NaCl + H_2O$

$2GeHCl_3 + 3Na_2CO_3 + H_2O = 2Ge(OH)_2 + 6NaCl + 3CO_2$

【GeH_2Cl_2】 $GeH_2Cl_2 + 2NH_{3(液)} \xlongequal{-78℃至27℃} Ge + 2NH_4Cl$

$GeH_2Cl_2 + H_2O = GeO + 2HCl + H_2$

$GeH_2Cl_2 + 2NaOH = GeO + 2NaCl + H_2O + H_2$

【GeH_3Cl】 $\underset{(过量液体氨)}{3GeH_3Cl + 3NH_3} \xlongequal{-78℃至50℃} 3NH_4Cl + GeH_4 + 2GeH$

$GeH_3Cl + H_2O \xlongequal{加OH^-} GeO + HCl + 2H_2$

$GeH_3Cl + NaOH = GeO + NaCl + 2H_2$

【GeH_3I】 $GeH_3I + HI = GeH_2I_2 + H_2$

【GeH_2I_2】 $GeH_2I_2 + HI = GeHI_3 + H_2$

【$GeHI_3$】 $GeHI_3 = GeI_2 + HI$

【GeHN】 $GeHN + 2H_2O = Ge(OH)_2 + NH_3$

【K_2GeF_6】 $K_2GeF_6 + H_2SO_4 \xlongequal{共热} GeF_4 + K_2SO_4 + 2HF$

【Mg_2Ge】 $Mg_2Ge + 4HCl \xlongequal{低温} 2MgCl_2 + GeH_4$

$2Mg_2Ge + 8HCl = 4MgCl_2 + Ge_2H_6 + H_2$

$3Mg_2Ge + 12HCl = 6MgCl_2 + Ge_3H_8 + 2H_2$

【$Ge(SO_4)_2$】 $Ge(SO_4)_2 + 2H_2O = \underset{(白色)}{GeO_2\downarrow} + 2H_2SO_4$

4.4 锡 $5s^25p^2$ Sn = 118.69

【Sn】 $Sn + 2Cl_{2(干燥)} = SnCl_4$

$Sn + O_2 \xlongequal{燃烧} SnO_2$

$Sn + S \xlongequal{\triangle} SnS$

$$Sn + 2NaOH + 2H_2O = Na_2[Sn(OH)_4] + H_2\uparrow$$

（亚锡酸钠）

（KOH也有类似的反应）

$$Sn + 2HCl_{(浓)} \xlongequal{\triangle} SnCl_2 + H_2\uparrow$$

（稀盐酸反应很慢）

$$Sn + 4H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} Sn(SO_4)_2 + 2SO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$Sn + H_2SO_{4(稀)} = SnSO_4 + H_2\uparrow（反应很慢）$$

注： 浓HNO_3（比重1.2至1.3）并不溶解Sn，但能将它氧化成白色粉末状。

$$Sn + 4HNO_{3(浓)} = H_2SnO_3\downarrow + 4NO_2\uparrow + H_2O$$

（α-锡酸）

（这是主要反应）

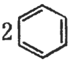
$$Sn + 4HNO_{3(稀)} + H_2O = 3H_2SnO_3\downarrow + 4NO\uparrow$$

$$4Sn + 10HNO_{3(很稀)} \xlongequal{冷} 4Sn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

$$3Sn + 4HNO_3 + 12HCl = 3SnCl_4 + 4NO + 8H_2O$$

$$2Sn + 2Fe_2(SO_4)_3 = 2SnSO_4 + 4FeSO_4$$

$$3Sn + 2Sb^{3+} = 2Sb + 3Sn^{2+}$$

3Sn + 2  $-NO_2$ + 12HCl ══ 2 $-NH_2$ + 3$SnCl_4$ + 4H_2O

（硝基苯）　　　　（苯胺）

【SnO】　$$4SnO \xlongequal{400-1040℃} Sn_3O_4 + Sn$$

【SnO_2】　$$SnO_2 + 2H_2 \xlongequal{\triangle} Sn + 2H_2O$$

$$SnO_2 + 2C \xlongequal{燃烧} Sn + 2CO\uparrow$$

$$SnO_2 + Na_2O = Na_2SnO_3$$

$$SnO_2 + 2NaOH \xlongequal{共熔} Na_2SnO_3 + H_2O$$

$$SnO_2 + 4NaOH + Zn \xlongequal{\triangle} Na_2SnO_2 + Na_2ZnO_2 + 2H_2O$$

$$SnO_2 + 2KCN \xlongequal{熔化} 2KOCN + Sn$$

$$SnO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2SnO_3 + CO_2\uparrow$$

$$2SnO_2 + 2Na_2CO_3 + 4S \xlongequal{共熔} Na_2SnS_3 + Na_2SO_4 + 2CO_2\uparrow$$

[$Sn(OH)_2$]（两性） $Sn(OH)_2 \xlongequal{\triangle} SnO + H_2O$

$$Sn^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Sn(OH)_2 \rightleftharpoons H^+ + HSnO_2^-$$

$$HSnO_2^- \xlongequal{\triangle} SnO\downarrow + OH^-$$

$$Sn(OH)_2 + 2NaOH = Na_2SnO_2 + 2H_2O$$

（OH^-适量）

$$Sn(OH)_2 + 2NaOH = Na_2Sn(OH)_4$$

（OH^-适量）

$$Sn(OH)_2 + OH^- = [Sn(OH)_3]^-$$

$$Sn(OH)_2 + 2OH^-(过量) = Sn(OH)_4^{2-}$$

$$Sn(OH)_2 + 2HCl = SnCl_2 + 2H_2O$$

$$Sn(OH)_2 + 2H^+ \rightleftharpoons Sn^{2+} + 2H_2O$$

[H_2SnO_3] $5H_2SnO_3 \xlongequal{煮沸} (SnO)_5(OH)_{10}$

（α-锡酸） （β-锡酸）

$$H_2SnO_3 + 2NaOH + H_2O = Na_2Sn(OH)_6$$

$$H_2SnO_3 + 4HCl = SnCl_4 + 3H_2O$$

（当HCl过量时，生成H_2SnCl_6）

$$H_2SnO_3 + 2H_2SO_4 = Sn(SO_4)_2 + 3H_2O$$

[H_4SnO_4]（两性） $Sn(OH)_4 \xlongequal{\triangle} SnO_2 + 2H_2O$

$$Sn(OH)_4 \xrightarrow[-H_2O]{用浓H_2SO_4干燥} H_2SnO_3 + H_2O$$

$$H_4SnO_4 + 2NaOH = Na_2SnO_3 + 3H_2O$$

$$Sn(OH)_4 + 6HCl = H_2[SnCl_6] + 4H_2O$$

$$Sn(OH)_4 + 4H^+ \rightleftharpoons Sn^{4+} + 4H_2O$$

$$3Sn(OH)_4 + 2Bi^{3+} + 6OH^- = 3Sn(OH)_6^{2-} + 2Bi\downarrow$$

【$(SnO)_5(OH)_{10}$】 $(SnO)_5(OH)_{10} + 2KOH = (SnO)_5(OH)_8(OK)_2 + 2H_2O$

(β-锡酸盐)

$$(SnO)_5(OH)_8(OK)_2 + 8KOH_{(浓)} \xrightleftharpoons{煮沸} 5K_2SnO_3 + 8H_2O$$

$$(SnO)_5(OH)_{10} + 20HCl_{(浓)} \xlongequal{煮沸} 5SnCl_4 + 15H_2O$$

$$(SnO)_5(OH)_{10} + 10HCl_{(浓)} \rightleftharpoons (SnO)_5Cl_{10} + 10H_2O$$

$$(SnO)_5Cl_{10} + 8H_2O \rightleftharpoons (SnO)_5(OH)_8Cl_2 + 8HCl$$

若加过量盐酸：

$$(SnO)_5(OH)_8Cl_2 + 2HCl_{(过量)} \rightleftharpoons (SnO)_5(OH)_6Cl_4 + 2H_2O$$

$$(SnO)_5(OH)_6Cl_4 + 4H_2O \rightleftharpoons (SnO)_5(OH)_{10} + 4HCl$$

【$(SnO)_5(OH)_8Cl_2$】 $(SnO)_5(OH)_8Cl_2 + 10H_2S = 5SnS_2 + 2HCl + 13H_2O$

$$(SnO)_5(OH)_8Cl_2 + SO_4^{2-} = (SnO)_5(OH)_8SO_4 + 2Cl^-$$

$$(SnO)_5(OH)_8SO_4 + 2H_2O = (SnO)_5(OH)_{10} + SO_4^{2-} + 2H^+$$

【Na_2SnO_2】 $2Na_2SnO_2 + H_2O \xlongequal[或浓OH^-]{加热} Na_2SnO_3 + Sn\downarrow + 2NaOH$

(浓液)

$$3Na_2SnO_2 + 2Bi(OH)_3 = 3Na_2SnO_3 + 2Bi\downarrow + 3H_2O$$

【Na_2SnO_3】 $Na_2SnO_3 + 3H_2O = Na_2[Sn(OH)_6]\downarrow$

$$SnO_3^{2-} + 2SnS_3^{2-} + 6H^+ = 3SnS_2 + 3H_2O$$

【$NaHSnO_2$】 $2NaHSnO_2 = Na_2SnO_3 + Sn + H_2O$

（在过量强碱溶液中的反应）

$$NaHSnO_2 = NaOH + SnO$$

$$3HSnO_2^- + 2CrO_4^{2-} + H_2O = 3HSnO_3^- + 2CrO_2^- + 2OH^-$$

$$3NaHSnO_2 + 2Na_2CrO_4 + NaOH = 2NaCrO_2 + 3Na_2SnO_3 + 2H_2O$$

注：$NaHSnO_2$在碱液中易分解。

【$Na_2[Sn(OH)_6]$】

$$Na_2[Sn(OH)_6] + 2H^+ = H_2[Sn(OH)_6] + 2Na^+$$

【SnF_4】 $3SnF_4 + 2H_2O = SnO_2\downarrow + 4H^+ + 2SnF_6^{2-}$

【$SnCl_2$】 $SnCl_2 + Cl_2 = SnCl_4$

$$2SnCl_2 + 2Br_{2(浓溴水)} = SnCl_4 + SnBr_4$$

$$SnCl_2 + I_2 + 2HCl = SnCl_4 + 2HI$$

$$4SnCl_2 + O_2 + 2H_2O = 4Sn(OH)Cl + 2Cl_2$$

$$SnCl_2 + H_2O = Sn(OH)Cl\downarrow + HCl$$

（Sn(OH)Cl白色乳浊液，易溶于盐酸）

$$SnCl_2 + 2NaOH = 2NaCl + Sn(OH)_2（或H_2SnO_2）$$

$$SnCl_2 + 2NaOH \overset{\triangle}{=} 2NaCl + SnO + H_2O$$

$$2SnCl_2 + 4HCl + O_{2(空气)} = 2SnCl_4 + 2H_2O$$

$$SnCl_2 + H_2S = SnS\downarrow + 2H^+ + 2Cl^-$$

$$SnCl_2 + 2HNO_2 + 2HCl = SnCl_4 + 2NO + 2H_2O$$

$$3SnCl_2 + H_2SO_3 + 6HCl = 3SnCl_4 + H_2S + 3H_2O$$

$$SnCl_2 + 2FeCl_3 = SnCl_4 + 2FeCl_2$$

$$6SnCl_2 + 2Na_2S_2O_3 + 12HCl \xlongequal{\triangle} 5SnCl_4 + 4NaCl + SnS_2 + 2S + 6H_2O$$

$$3SnCl_2 + K_2Cr_2O_7 + 14HCl = 3SnCl_4 + 2CrCl_3 + 2KCl + 7H_2O$$

$$5SnCl_2 + 2KMnO_4 + 16HCl = 2MnCl_2 + 5SnCl_4 + 2KCl + 8H_2O$$

$$SnCl_2 + Na_2CO_3 = SnO + 2NaCl + CO_2\uparrow$$

$$SnCl_{2(\text{少量})} + 2Hg^{2+} + 4Cl^- = \underset{(\text{白色})}{Hg_2Cl_2\downarrow} + SnCl_4$$

$$Hg_2Cl_2 + SnCl_{2(\text{过量})} = SnCl_4 + \underset{(\text{灰色})}{2Hg\downarrow}$$

【Sn^{2+}】

$$Sn^{2+} + Cl_2 = Sn^{4+} + 2Cl^-$$

$$Sn^{2+} + I_2 = Sn^{4+} + 2I^-$$

$$2Sn^{2+} + O_2 + 4H^+ = 2Sn^{4+} + 2H_2O$$

$$Sn^{2+} + Zn = Sn + Zn^{2+}$$

$$Sn^{2+} + H_2O_2 + 2H^+ = Sn^{4+} + 2H_2O$$

$$Sn^{2+} + H_2O_2 + 2OH^- \xlongequal{\triangle} Sn(OH)_4\downarrow$$

$$3Sn^{2+} + SO_2 + 6H^+ = 3Sn^{4+} + H_2S\uparrow + 2H_2O$$

$$Sn^{2+} + H_2S = SnS\downarrow + 2H^+$$

$$6Sn^{2+} + 2SO_3^{2-} + 12H^+ = \underset{(\text{黄色})}{SnS_2\downarrow} + 5Sn^{4+} + 6H_2O$$

$$6Sn^{2+} + 2S_2O_3^{2-} + 9H_2O = SnS_2\downarrow + 5H_2SnO_3 + 2S + 8H^+$$

$$Sn^{2+} + CO_3^{2-} + H_2O = \underset{(\text{白色胶状})}{Sn(OH)_2\downarrow} + CO_2$$

$$Sn^{2+} + H_2C_2O_4 \xlongequal{\text{中性或弱酸性中}} \underset{(\text{白色})}{SnC_2O_4\downarrow} + 2H^+$$

$Sn^{2+} + (NH_4)_2S = SnS\downarrow + 2NH_4^+$

$Sn^{2+} + 2Fe^{3+} = 2Fe^{2+} + Sn^{4+}$

$3Sn^{2+} + 8Fe^{3+} + 6[Fe(CN)_6]^{3-} \xlongequal{\text{酸性溶液}} 3Sn^{4+} + 2Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow$
（蓝色）

$Sn^{2+} + 2Hg^{2+} = Sn^{4+} + Hg_2^{2+}$

Sn^{2+}（过量）$+ Hg_2^{2+} = Sn^{4+} + 2Hg$

$3Sn^{2+} + 2Au^{3+} = 3Sn^{4+} + 2Au\downarrow$

【$SnCl_4$】 $SnCl_4 + 2H_2 \xlongequal{\triangle} Sn + 4HCl$

$SnCl_4 + Sn = 2SnCl_2$

$SnCl_4 + 2H_2O = SnO_2 + 4HCl\uparrow$
（主要水解反应的形式）

$SnCl_4 + (x+2)H_2O = SnO_2 \cdot xH_2O + 4HCl\uparrow$
（一般水解反应的形式）

$3SnCl_4 + 4H_2O \rightleftharpoons Sn(OH)_4 + 2H_2SnCl_6$
（不完全水解反应的形式）

$5SnCl_4 + 13H_2O \xlongequal{\triangle} 18HCl + (SnO)_5Cl_2(OH)_8$

$SnCl_4 + 4H_2O$（过量）$\xlongequal{\text{煮沸}} 4HCl + Sn(OH)_4\downarrow$

$SnCl_4 + 4NH_4OH = H_2SnO_3\downarrow + 4NH_4Cl + H_2O$

$SnCl_4 + 4HF = SnF_4 + 4HCl$

$SnCl_4 + 2HCl \rightleftharpoons H_2[SnCl_6]$
（六氯锡酸）

$SnCl_4 + 2KI = SnCl_2 + 2KCl + I_2$

【Sn^{4+}】 $Sn^{4+} + 2Zn = Sn\downarrow + 2Zn^{2+}$

$Sn^{4+} + Fe = Sn^{2+} + Fe^{2+}$

$3Sn^{4+} + 2Sb = 3Sn^{2+} + 2Sb^{3+}$
（在沸的锡酸溶液中进行）

$$Sn^{4+} + 2Cu = Sn^{2+} + Cu_2^{2+}$$

（在沸的锡酸溶液中进行）

$$Sn^{4+} + 4OH^- \rightleftharpoons \underset{\text{(白色)}}{Sn(OH)_4} \downarrow$$

$$Sn^{4+} + 2H_2S \xlongequal{\text{强酸中}} SnS_2 \downarrow + 4H^+$$

$$Sn^{4+} + 2(NH_4)_2S = SnS_2 + 4NH_4^+$$

$$Sn^{4+} + 2S^{2-} \xrightleftharpoons{\text{加0.3MHCl}} \underset{\text{(黄色)}}{SnS_2} \downarrow$$

$$Sn^{4+} + 2CO_3^{2-} + 2H_2O = Sn(OH)_4 + 2CO_2$$

$$Sn^{4+} + 2S_2O_3^{2-} + 2H_2O \xlongequal{\text{酸性溶液}} SnS_2 \downarrow + 4H^+ + 2SO_4^{2-}$$

$$Sn^{4+} + 2S_2O_3^{2-} + H_2O \xlongequal{\text{酸性溶液}} H_2SnO_3 + 2SO_2 \uparrow + 2S$$

$$Sn^{4+} + 2C_2H_3OS^- + 2H_2O \xlongequal{\text{热酸性溶液}} SnS_2 \downarrow + 2HC_2H_3O_2 + 2H^+$$

【SnI_4】 $SnI_4 + 6KNH_2 = 4KI + K_2[Sn(NH_2)_6]$

【SnS】 $SnS + S = SnS_2$

$$SnS + 4Cl^- + 2H^+ = SnCl_4 + H_2S \uparrow$$

$$SnS + (NH_4)_2S_2 = SnS_2 + (NH_4)_2S$$

$$SnS + (NH_4)_2S_2 = (NH_4)_2SnS_3$$

$$SnS + S_2^{2-} = \underset{\text{(硫代锡酸根)}}{SnS_3^{2-}}$$

【SnS_2】 $3SnS_2 + 6NaOH = 2Na_2SnS_3 + Na_2SnO_3 + 3H_2O$

$$SnS_3^{2-} + 2H^+ = H_2S \uparrow + SnS_2 \downarrow$$

$$SnS_2 + 4HCl = SnCl_4 + 2H_2S \uparrow$$

$$SnS_2 + 6HCl_{(浓)} = H_2SnCl_6 + 2H_2S \uparrow$$

$$SnS_2 + 4H^+ + 6Cl^- = [SnCl_6]^{2-} + 2H_2S\uparrow$$

$$SnS_2 + Na_2S = Na_2SnS_3$$

$$SnS_2 + 2Na_2S = Na_4SnS_4$$

$$SnS_2 + (NH_4)_2S = (NH_4)_2SnS_3$$

$$SnS_2 + S^{2-} = SnS_3^{2-}$$

【H_2SnCl_6】 $SnCl_6^{2-} + Mg = Mg^{2+} + Sn^{2+} + 6Cl^-$

$$SnCl_6^{2-} + Fe = Fe^{2+} + Sn^{2+} + 6Cl^-$$

$$H_2SnCl_6 + 2H_2S = SnS_2\downarrow + 6HCl$$

$$SnCl_6^{2-} + 2H_2S = SnS_2\downarrow + 4H^+ + 6Cl^-$$

【$Sn(SO_4)_2$】 $Sn(SO_4)_2 + Pb = SnSO_4 + PbSO_4$

$$4SnSO_4 + 2HNO_3 + 4H_2SO_4 = 4Sn(SO_4)_2 + N_2O + 5H_2O$$

$$SnSO_4 + I_2 + H_2SO_4 = Sn(SO_4)_2 + 2HI$$

【SnC_2O_4】 $SnC_2O_{4(固)} \xrightarrow{隔绝空气加热} SnO + CO_2 + CO$

4.5 铅 $6s^26p^2$ Pb = 207.2

【Pb】 $Pb + Cl_2 = PbCl_2$（或 $PbCl_4$）

$$2Pb + O_2 \xrightarrow{强热} 2PbO$$

$$Pb + S \xrightarrow{强热} PbS$$

$$2Pb + 2H_2O + O_{2(空气)} = 2Pb(OH)_2\downarrow_{(很慢)}$$

注： Pb与HCl作用生成一层极薄难溶的 $PbCl_2$ 盖于金属表面，阻止反应的进行，但热的浓HCl能反应。

$$Pb + 3HCl_{(浓热液)} = HPbCl_3 + H_2\uparrow$$

$$Pb + H_2S_{(溶液)} = PbS + H_2\uparrow + 19千卡$$

$$Pb + 3H_2SO_{4(很浓)} \xrightarrow{\triangle} Pb(HSO_4)_2 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

（85%以下的H_2SO_4不能与Pb作用，因为生成的$PbSO_4$不溶于水，阻止反应的进行）

$$3Pb + 8HNO_3(稀) = 3Pb(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O(较快)$$

$$Pb + 4HNO_3(浓) = Pb(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O(较慢)$$

（因为生成的$Pb(NO_3)_2$不溶于浓HNO_3中）

$$Pb(粉) + NaNO_3(固) \xlongequal{共熔} PbO + NaNO_2$$

$$Pb + Fe^{2+} = Pb^{2+} + Fe$$

$$2Pb + O_2(空气) + 2CH_3COOH(蒸气) = 2Pb(OH)CH_3COO$$

$$6Pb(OH)CH_3COO + 2CO_2 = Pb_3(OH)_2(CO_3)_2 + 3Pb(CH_3COO)_2 + 2H_2O$$

【PbO】

$$PbO + H_2 \xlongequal{185℃以上} Pb + H_2O$$

$$PbO + C \xlongequal{\triangle} Pb + CO\uparrow$$

$$2PbO + Sn \xlongequal{高温} 2Pb + SnO_2$$

$$3PbO + 2Sb = Sb_2O_3 + 3Pb$$

$$3PbO + 2As \xlongequal{高温} 3PbO + As_2O_3$$

$$PbO + SO_3 \xlongequal{\triangle} PbSO_4$$

$$PbO + CO \xlongequal{\triangle} Pb + CO_2\uparrow$$

$$PbO + SiO_2 \xlongequal{强热} PbSiO_3$$

$$PbO + KOH(稀) = KHPbO_2$$

$$PbO + 2HCl \xlongequal{常温} PbCl_2 + H_2O$$

$$PbO + H_2S(溶液) = PbS\downarrow + H_2O$$

$$PbO + 2HClO_4 \xlongequal{\triangle} Pb(ClO_4)_2 + H_2O$$

$$PbO + 2CH_3COOH = Pb(CH_3COO)_2 + H_2O$$

$$PbO + (NH_4)_2S = PbS\downarrow + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

【PbO_2】 $PbO_{2(固)} + Pb_{(固)} + 4H^+ + 2SO_4^{2-} = 2PbSO_{4(固)} + 2H_2O$

$PbO_2 + H_2O_2 = PbO + H_2O + O_2$

$PbO_2 + H_2O_2 + 2HCl = PbCl_2 + 2H_2O + O_2$

$PbO_2 + H_2O_2 + 2HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + 2H_2O + O_2$

总之：$PbO_2 + H_2O_2 + 2H^+ = Pb^{2+} + 2H_2O + O_2$

$PbO_2 + 2PbO = Pb_2[PbO_4]$

$PbO_2 + 2KOH + 2H_2O = K_2Pb(OH)_6 \downarrow$

$PbO_2 + 2NaOH \xlongequal{\triangle} Na_2PbO_3 + H_2O$

$2PbO_2 + \underset{(羟胺)}{2NH_2OH} + 4KOH = 2Pb(OK)_2 + N_2O + 5H_2O$

$PbO_2 + 4HCl_{(浓)} \xlongequal{\triangle} PbCl_2 + 2H_2O + Cl_2$

$PbO_2 + 4HCl_{(稀)} \xlongequal{0℃} PbCl_4 + 2H_2O$

$PbO_2 + H_2S = PbO + H_2O + S$

$PbO_2 + H_2SO_3 = PbSO_3 + H_2O + [O]$

$2PbO_2 + \underset{(浓)}{2H_2SO_4} \xlongequal{\triangle} 2PbSO_4 + 2H_2O + O_2 \uparrow$

$PbO_2 + 4HNO_3 \xlongequal{\triangle} Pb(NO_3)_4 + 2H_2O$

$2PbO_2 + H_2C_2O_4 = 2PbO + H_2O_2 + 2CO_2$

$PbO_2 + 2KI + 4HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + 2KNO_3 + I_2 + 2H_2O$

$PbO_2 + 2(NH_4)_2S = PbS \downarrow + 4NH_3 + 2H_2O + S$

$PbO_2 + NaNO_2 + 2HNO_3 = Pb(NO_3)_2 + NaNO_3 + H_2O$

$5PbO_2 + 2MnSO_4 + 3H_2SO_{4(30\%沸)} = 5PbSO_4 + 2HMnO_4 + 2H_2O$

$$PbO_2 + 2Na_2S_2O_3 = Na_2S_2O_6 + Na_2O + PbO + 2S$$

$$5PbO_2 + 2Mn^{2+} + 4H^+ = 2MnO_4^- + 5Pb^{2+} + 2H_2O$$

（在HNO_3中进行）

$$PbO_2 + 2SOCl_2(\text{过量}) \xrightarrow[\text{密封}]{150℃} PbCl_2 + SO_2Cl_2 + SO_2$$

$$PbO_2 + \underset{\text{(联苯胺)}}{C_{12}H_8(NH_2)_2} + 2HC_2H_3O_2 = \underset{\text{(联苯亚胺)}}{C_{12}H_8(NH)_2} + Pb(C_2H_3O_2)_2 + 2H_2O$$

【Pb_2O_3】　$Pb_2O_3 + 6HCl(\text{浓}) = 2PbCl_2 + 3H_2O + Cl_2\uparrow$

【Pb_3O_4】　$2Pb_3O_4 \underset{400-500℃}{\overset{1000℃}{\rightleftharpoons}} 6PbO + O_2$

$$Pb_3O_4 + 8HCl = 3PbCl_2 + Cl_2 + 4H_2O$$

$$Pb_3O_4 + 4HI(\text{过量}) = PbO_2 + 2PbI_2 + 2H_2O$$

$$Pb_3O_4 + 8HI = 3PbI_2\downarrow + I_2 + 4H_2O$$

$$Pb_3O_4 + 4HNO_3 = 2Pb(NO_3)_2 + PbO_2 + 2H_2O$$

$$Pb_3O_4 + 8CH_3COOH(\text{热}) + Cl_2 = 2Pb(CH_3COO)_4 + PbCl_2\downarrow + 4H_2O$$

$$Pb_3O_4 + 4H^+ + NO_3^- = PbO_2 + 2Pb^{2+} + NO_3^- + 2H_2O$$

【$Pb(OH)_2$】　$Pb(OH)_2 \xrightarrow{140℃} PbO + H_2O$

$$Pb(OH)_2 + 2OH^- + Cl_2 = H_2PbO_3 + 2Cl^- + H_2O$$

$$Pb(OH)_2 + H_2O_2 = PbO_2 + 2H_2O$$

$$Pb(OH)_2 + 2NaOH(\text{过量}) = Na_2PbO_2 + 2H_2O$$

$$H_2PbO_2 + NaOH = NaHPbO_2 + H_2O$$

$$Pb^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Pb(OH)_2 \rightleftharpoons H^+ + HPbO_2^-$$

$$Pb(OH)_2 + 2OH^- = PbO_2^{2-} + 2H_2O$$

$$Pb(OH)_2 + OH^-(\text{过量}) = Pb(OH)_3^-$$

$$Pb(OH)_2 + 2HCl \xlongequal{热} PbCl_2 + 2H_2O$$

$$Pb(OH)_2 + 2H^+ \xlongequal{} Pb^{2+} + 2H_2O$$

$$7Pb(OH)_2 + 2KCl \xlongequal{} (PbO)_6 \cdot PbCl_2 \cdot 2H_2O\downarrow + 2KOH + 4H_2O$$

$$Pb(OH)_2 + NaClO \xlongequal{} PbO_2 \cdot H_2O\downarrow + NaCl$$

$$4Pb(OH)_2 + 2NaIO_3 \xlongequal{} (PbO)_3 \cdot Pb(IO_3)_2 \cdot 2H_2O\downarrow + 2NaOH + H_2O$$

$$4Pb(OH)_2 + 2NH_4BrO_3 \xlongequal{} (PbO)_3 \cdot Pb(BrO_3)_2 \cdot 2H_2O\downarrow + 2NH_4OH + H_2O$$

$$4Pb(OH)_2 + K_2SO_4 \xlongequal{} (PbO)_3 \cdot PbSO_4 \cdot H_2O\downarrow + 2KOH + 2H_2O$$

$$7Pb(OH)_2 + 4Na_2CO_{3(稀液)} \xlongequal{} (PbO)_3(PbCO_3)_4 \cdot 2H_2O\downarrow + 8NaOH + H_2O$$

$$Pb(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \xlongequal{} CaCO_3\downarrow + PbCO_3 + 2H_2O$$

【$PbPbO_3$】 $$PbPbO_3 + 2H^+ \xlongequal{} Pb^{2+} + H_2PbO_3$$

【Pb_2PbO_4】 $$Pb_2PbO_4 + 4HNO_{3(稀)} \xlongequal{\triangle} 2Pb(NO_3)_2 + PbO_2 + 2H_2O$$

$$Pb_2PbO_4 + 4H^+ \xlongequal{} 2Pb^{2+} + H_2PbO_3 + H_2O$$

【$PbCl_2$】 $$2PbCl_2 + H_2 \xlongequal{} 2PbCl + 2HCl$$

$$PbCl_2 + H_2O_2 \xlongequal{} PbO_2\downarrow + 2HCl$$

$$4PbCl_2 + 6NH_4OH \xlongequal{} PbCl_2 \cdot 3PbO + 6NH_4Cl + 3H_2O$$

$$PbCl_2 + 2HCl_{(浓)} \xlongequal{} H_2[PbCl_4]$$

$$PbCl_2 + 2Cl^- \rightleftharpoons [PbCl_4]^{2-}$$

（在浓HCl中的反应）

$PbCl_2 + Cl^- \rightleftharpoons [PbCl_3]^-$

（在浓HCl中的反应）

$2PbCl_2 + 2H_2S \xlongequal{加H^+} 2PbS\downarrow + 4HCl$

$2PbCl_2 + H_2S_{(气)} \xlongequal{加H^+} Pb_2SCl_2 + 2HCl$

$2PbCl_2 + KCl_{(稀、液)} = KPb_2Cl_5\downarrow$ （白色）

$3PbCl_2 + 3KCl_{(热浓)} + H_2O = 3KPbCl_3 \cdot H_2O\downarrow$ （白色晶体）

$PbCl_2 + 2NaCl \xlongequal{加HCl} Na_2PbCl_4$

$2PbCl_2 + NH_4Cl = NH_4Cl \cdot (PbCl_2)_2$

$PbCl_{2(干燥的)} + 2KI_{(干燥的)} \xlongequal{共研} PbI_2 + 2KCl$

$PbCl_{2(热液)} + Na_2S_2O_3 + H_2O = PbS\downarrow + 2NaCl + H_2SO_4$

$3PbCl_2 + 2Na_2HPO_4 = Pb_3(PO_4)_2 + 4NaCl + 2HCl$

$PbCl_2 + Na_2HPO_4 = PbHPO_4 + 2NaCl$

$PbCl_2 + (NH_4)_2M_0O_4 = PbMoO_4\downarrow + 2NH_4Cl$

$2PbCl_2 + 2KSCN_{(浓液)} = PbCl_2 \cdot Pb(SCN)_2 + 2KCl$

$PbCl_2 + 4NH_4CH_3COO_{(浓)} = (NH_4)_2Pb(CH_3COO)_4 + 2NH_4Cl$

【$PbCl_4$】 $PbCl_4 \xlongequal{常温} PbCl_2 + Cl_2$

$PbCl_4 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2PbCl_6\downarrow$
（饱和溶液） （偏高铅酸铵）

【PbI_2】 $PbI_2 + I^- = [PbI_3]^-$

$PbI_2 + Na_2CO_3 = PbCO_3\downarrow + 2NaI$

【Pb^{2+}】 $Pb^{2+} + Sn_{(固)} = Sn^{2+} + Pb_{(固)}$

$Pb^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Pb(OH)_2$

$$Pb^{2+} + HCl_{(稀)} \rightleftharpoons PbCl + H^+$$

$$Pb^{2+} + H_2S \rightleftharpoons PbS\downarrow + 2H^+$$
（黑色）

$$Pb^{2+} + 2Cl^- \rightleftharpoons PbCl_2$$

$$Pb^{2+} + 4Cl^- \rightleftharpoons PbCl_4^{2-}$$

$$Pb^{2+} + OH^- + Cl^- \rightleftharpoons Pb(OH)Cl$$

$$Pb^{2+} + 2I^- \rightleftharpoons PbI_2\downarrow$$
（黄色）

$$Pb^{2+} + SO_4^{2-} \rightleftharpoons PbSO_4\downarrow$$

$$3Pb^{2+} + 2HPO_4^{2-} + 2C_2H_3O_2^- \rightleftharpoons Pb_3(PO_4)_2\downarrow + 2CH_3COOH$$

$$3Pb^{2+} + 4HPO_4^{2-} \rightleftharpoons Pb_3(PO_4)_2\downarrow + 2H_2PO_4^-$$
（白色）

[PbS] $PbS + H_2 \xlongequal{\triangle} Pb + H_2S$

$$2PbS + 3O_{2(空气)} \xlongequal{\triangle} 2PbO + 2SO_2\uparrow$$

$$PbS + 2O_2 \xlongequal{\triangle} PbSO_4 + 197千卡$$

$$PbS + Fe \xlongequal{高温} Pb + FeS$$

$$PbS + 4H_2O_2 \rightleftharpoons PbSO_4\downarrow + 4H_2O$$
（白色）

（5% CH_3COOH 和 15% CH_3COONH_4 环境中）

$$PbS + 2PbO \xlongequal{煅烧} 3Pb + SO_2\uparrow$$

$$PbS + 4NaOH + 2O_2 \rightleftharpoons Na_2PbO_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$PbS + 4HCl_{(浓)} \xlongequal{\triangle} PbCl_4^{2-} + 2H^+ + H_2S\uparrow$$

$$3PbS + 8HNO_{3(稀)} \xlongequal{\triangle} 3Pb(NO_3)_2 + 3S + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$3PbS + 14HNO_3(稀) \xlongequal{\triangle} 3Pb(NO_3)_2 + 3H_2SO_4 + 8NO\uparrow + 4H_2O$$

【$Pb(CNS)_2$】 $Pb(CNS)_2 + H_2S \xlongequal{} PbS\downarrow + 2HCNS$

【$Pb(ClO_4)_2$】 $Pb(ClO_4)_2 + H_2SO_4(稀) \xlongequal{搅拌} PbSO_4\downarrow + 2HClO_4$

$$Pb(ClO_4)_2 + K_2Cr_2O_7 \xlongequal{} PbCrO_4\downarrow + 2KClO_4 + CrO_3$$

$$Pb(ClO_4)_2 + (NH_4)_2MoO_4 \xlongequal{} PbMoO_4\downarrow + 2NH_4ClO_4$$

【$Pb(IO_3)_2$】 $2Pb(IO_3)_2 \xlongequal{\triangle} 2PbO + 2I_2 + 5O_2$

【$PbSO_4$】 $2PbSO_4 \xlongequal{煅烧} 2PbO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$$2PbSO_4 + H_2 \xlongequal{} Pb_2SO_4 + H_2SO_4$$

（氢电极发生的反应）

$$PbSO_4 + CaO \xlongequal{} CaSO_4 + PbO$$

$$2PbSO_4 + 3SiO_2 \xlongequal{高温} 2PbO\cdot 3SiO_2 + 2SO_2 + O_2$$

$$PbSO_4 + 4KOH \xlongequal{\triangle} K_2PbO_2 + K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$PbSO_4 + 4NaOH(过量) \xlongequal{\triangle} Na_2PbO_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$2PbSO_4 + Ba(OH)_2 \xlongequal{煮沸} PbSO_4\cdot PbO\downarrow + BaSO_4\downarrow + H_2O$$

$$PbSO_4 + 3HI(冷、浓) \xlongequal{} HPbI_3 + H_2SO_4$$

$$PbSO_4 + 11HI(热) \xlongequal{} HPbI_3 + 4I_2 + 4H_2O + H_2S$$

$$PbSO_4 + H_2S \xlongequal{} PbS\downarrow + H_2SO_4$$

$$PbSO_4 + H_2SO_4(浓、过量) \rightleftharpoons Pb(HSO_4)_2$$

$$2PbSO_4 + 2HNO_3 = Pb(HSO_4)_2 + Pb(NO_3)_2$$

$$2PbSO_4 + 2PbS \xlongequal{\triangle} 4Pb + 4SO_2\uparrow$$

$$PbSO_4 + (NH_4)_2CO_3 = PbCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$PbSO_4 + K_2CrO_4 = PbCrO_4\downarrow + K_2SO_4$$

$$PbSO_4 + 2CH_3COONH_4 = Pb(CH_3COO)_2 + (NH_4)_2SO_4$$

$$2PbSO_4 + 2CH_3COONH_4 + 2NH_4OH = Pb_2O(CH_3COO)_2 + 2(NH_4)_2SO_4 + H_2O$$

铅蓄电池的工作原理：

充电：

负极：$PbSO_4 + 2e^- + 2H^+ = Pb + H_2SO_4$

正极：$PbSO_4 + SO_4^{2-} - 2e^- = Pb(SO_4)_2$

$Pb(SO_4)_2 + 2H_2O \rightleftharpoons PbO_2 + 2H_2SO_4$

或 $PbSO_4 + 2H_2O - 2e^- = PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-}$

充电总反应：

$$2PbSO_4 + 2H_2O = Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4$$

放电：

负极：$Pb + SO_4^{2-} = PbSO_4 + 2e^-$

正极：$PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons Pb(SO_4)_2 + 2H_2O$

$Pb(SO_4)_2 + 2e^- + 2H^+ = PbSO_4 + H_2SO_4$

或 $PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- = PbSO_4 + 2H_2O$

放电总反应：

$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 = 2PbSO_4 + 2H_2O$$

铅蓄电池总反应：

负极（铅板）：$Pb + SO_4^{2-} \underset{\text{放电}}{\overset{\text{充电}}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2e^-$

正极(PbO₂板)：$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^-$

$$\underset{充}{\overset{放}{\rightleftharpoons}} PbSO_4 + 2H_2O$$

电池内净反应：$Pb + PbO_2 + 4H^+ + 2SO_4^{2-}$

$$\underset{充电}{\overset{放电}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

【$Pb(NO_3)_2$】　$2Pb(NO_3)_2 \xlongequal{\triangle} 2PbO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

（反应在适中温度下进行）

$$Pb(NO_3)_2 \xlongequal{燃烧} PbO_2 + 2NO_2\uparrow$$

$$Pb(NO_3)_2 + H_2O \xlongequal{不加酸} Pb(OH)NO_3\downarrow + H^+ + NO_3^-$$

$$2Pb(NO_3)_2 + As_2O_5 + 4NH_4OH \xlongequal{} 2PbHAsO_4\downarrow + 4NH_4NO_3 + H_2O$$

$$13Pb(NO_3)_2 + 4As_2O_5 + 26NH_4OH \xlongequal{} [Pb_3(AsO_4)_2]_4 \cdot Pb(OH)_2 + 26NH_4NO_3 + 12H_2O$$

$$Pb(NO_3)_2 + 2NH_4OH \xlongequal{} Pb(OH)_2\downarrow + 2NH_4NO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + 2HBr \xlongequal{} PbBr_2\downarrow + 2HNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + H_2S \xlongequal{PH=4} \underset{(棕黑色)}{PbS}\downarrow + 2HNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + H_2SO_4 \xlongequal{} PbSO_4\downarrow + 2HNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + 2H_3PO_4(过量) \xlongequal{400℃} \underset{(针状)}{PbP_2O_6}\downarrow + 2HNO_3 + 2H_2O$$

$$\underset{(饱和的,冷的)}{Pb(NO_3)_2} + \underset{(饱和的,冷的)}{3KCl} + H_2O \xlongequal{滴加} KPbCl_3 \cdot H_2O\downarrow + 2KNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + 3KBr + H_2O \xrightarrow[(静置)]{滴加} \underset{(结晶)}{KPbBr_3 \cdot H_2O} \downarrow + 2KNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + 2KI(浓液) = PbI_2 \downarrow + 2KNO_3$$

$$PbI_2(红色) + KI = KPbI_3(白色)$$

$$3Pb(NO_3)_2 + 2NaIO_4 + 4H2O \xlongequal{在0.8N硝酸液中} Pb_3H_4(IO_6)_2 \downarrow + 4HNO_3 + 2NaNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + Na_2S_2O_3 \xlongequal{中性} \underset{(淡黄色)}{PbS_2O_3} \downarrow + 2NaNO_3$$

$$Pb \cdot S_2O_3 + H_2O = \underset{(黑色)}{PbS} \downarrow + H_2SO_4$$

（不完全水解的反应）

$$Pb(NO_3)_2 + (NH_4)_2S_2O_8 + 4NH_4OH = PbO_2 + 2(NH_4)_2SO_4 + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$$

$$7Pb(NO_3)_2 + 7Na_2CO_3(浓液) + H_2O = (PbCO_3)_6 \cdot PbO \cdot H_2O \downarrow + 14NaNO_3 + CO_2$$

$$4Pb(NO_3)_2 + 4Na_2CO_3(较稀液) + H_2O = (PbCO_3)_3 \cdot PbO \cdot H_2O + 8NaNO_3 + CO_2$$

$$Pb(NO_3)_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{混合} PbCO_3 \downarrow + 2NaNO_3$$

$$2Pb(NO_3)_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2O = 2PbCrO_4 \downarrow + 2KNO_3 + 2HNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + K_2CrO_4 = PbCrO_4 \downarrow + 2KNO_3$$

$$3Pb(NO_3)_2 + 2Cr(MnO_4)_2 + 13H_2O = Cr_2O_3 + 4MnO_2 + Pb_3O_4 + 6NO + 26OH^-$$

$$Pb(NO_3)_2 + KSCN + H_2O \xlongequal{加吡啶} \underset{(白色)}{Pb(OH) \cdot SCN} \downarrow + KNO_3 + HNO_3$$

$$Pb(NO_3)_2 + \underset{(蒸气)}{2POCl_3} \xrightarrow{\text{在氮气流下进行}} NO_2Cl + PbCl_2 + P_2O_5 + NOCl + Cl_2$$

$$Pb(NO_3)_2 + \underset{(甘油)}{\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array}} + 2NaOH = \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHO \diagdown \\ \quad\quad\quad Pb \\ | \\ CH_2O \diagup \end{array} + 2NaNO_3 + 2H_2O$$

（此反应可以用来检验pb^{2+}）

【$PbCO_3$】　$$PbCO_3 \xlongequal{\triangle} PbO + CO_2 \uparrow$$

$$PbCO_3 + 2HClO_4 = Pb(ClO_4)_2 + H_2O + CO_2 \uparrow$$

$$PbCO_3 + 2CH_3COOH \rightleftharpoons Pb(CH_3COO)_2 + CO_2 \uparrow + H_2O$$

$$3PbCO_3 + K_2CO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons (PbCO_3)_2 \cdot Pb(OH)_2 + 2KHCO_3$$

$$PbCO_3 + 2C_2H_5OH + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\text{冰冷却}} Pb(C_2H_5SO_4)_2 \cdot H_2O + CO_2 + 2H_2O$$

【$PbCrO_4$】　$$PbCrO_4 + 2NaOH = Pb(OH)_2 + Na_2CrO_4$$

$$PbCrO_4 + 4NaOH_{(过量)} = Na_2PbO_2 + Na_2CrO_4 + 2H_2O$$

$$PbCrO_4 + 2HCl \rightleftharpoons PbCl_2 + H_2CrO_4$$

$$2PbCrO_4 + C_2H_5OH + 4HNO_3 \xlongequal{90℃} \underset{(绿色)}{Cr_2O_3} \downarrow + 2Pb(NO_3)_2 \downarrow + CH_3CHO + O_2 + 3H_2O$$

【$Pb(CH_3COO)_2$】　$$Pb(CH_3COO)_2 + Br_2 + 2H_2O \rightleftharpoons PbO_2 \downarrow + 2CH_3COOH + 2Br^- + 2H^+$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + 2I_{2(\text{过量})} \xlongequal{} 2CH_3I + PbI_2 + 2CO_2\uparrow$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + I_2 \xlongequal{\text{加}CH_3COOH} CH_3COOCH_3 + PbI_2 + CO_2$$

$$6Pb(CH_3COO)_2 + 6I_2 + 6H_2O \xlongequal{\triangle} 5PbI_2 + Pb(IO_3)_2 + 12CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_{2(\text{稀液})} + H_2O \xlongequal{} Pb(OH)\cdot(CH_3COO)\downarrow + C_2H_4O_2$$

$$3Pb(OH)(CH_3COO) + 2CO_2 + H_2O \xlongequal{} (2PbCO_3)\cdot Pb(OH)_2\downarrow + 3CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_{2(\text{浓液})} + CO_2 + H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} PbCO_3\downarrow + 2CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + H_2S \xlongequal{} PbS\downarrow + 2CH_3COOH$$

$$2Pb(CH_3COO)_2 + 2H_3AsO_4 \xlongequal{} Pb_2As_2O_7\downarrow + 4CH_3COOH + H_2O$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + H_2C_2O_4 \xlongequal{} PbC_2O_4\downarrow + 2CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + 2NaCl \xlongequal{} PbCl_2\downarrow + 2CH_3COONa$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + CaOCl_2 + H_2O \xlongequal{} PbO_2\downarrow + CaCl_2 + 2CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_{2(\text{稀液})} + Na_2SO_{3(\text{稀液})} \xlongequal{} PbSO_3\downarrow + 2CH_3COONa$$

$$3Pb(CH_3COO)_2 + 2Na_2S_2O_{3(\text{浓液})} \xlongequal{} 4CH_3COONa + (CH_3COO)_2Pb\cdot 2PbS_2O_3\downarrow$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + Na_2S_2O_{3(\text{稀液})} \xlongequal{} 2CH_3COONa + PbS_2O_3\downarrow$$

$$PbS_2O_3 + 3Na_2S_2O_3\text{(过量)} = PbS\downarrow + 4S\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$4PbS_2O_3 \xlongequal{\text{煮沸}} PbS\downarrow + 4S\downarrow + 3PbSO_4$$

$$3Pb(CH_3COO)_2 + Al_2(SO_4)_3 + 2H_2O = 2Al(OH)(C_2H_3O_2)_2 + 3PbSO_4 + 2CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + Na_2HPO_4\text{(冷)} = PbHPO_4\downarrow + 2NaCH_3COO$$

$$3Pb(CH_3COO)_2 + 2Na_2HPO_4 \xlongequal{\text{沸}} Pb_3(PO_4)_2\downarrow + 2HC_2H_3O_2 + 4CH_3COONa$$

$$3Pb(CH_3COO)_2 + 2Na_3PO_4\text{(足量)} = 6NaC_2H_3O_2 + Pb_3(PO_4)_2\downarrow$$

$$3Pb(CH_3COO)_2 + 2Na_2CO_3 + 2NaOH = \underset{\text{(白色)}}{Pb(OH)_2\cdot 2PbCO_3}\downarrow + 6NaCH_3COO$$

$$2\underset{\text{(晶体)}}{Pb(CH_3COO)_2\cdot 3H_2O} + K_2Cr_2O_7 \xlongequal{\text{研磨}} 2PbCrO_4\downarrow + 2CH_3COOK + 2CH_3COOH + 2H_2O$$

$$2Pb(CH_3COO)_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2O \xlongequal{\text{醋酸}} 2PbCrO_4\downarrow + 2CH_3COOK + 2CH_3COOH$$

$$Pb(CH_3COO)_2 + 2KSCN = \underset{\text{(黄色)}}{Pb(SCN)_2}\downarrow + 2KC_2H_3O_2$$

$$2Pb(CH_3COO)_2 + K_4Fe(CN)_6\text{(过量)} = Pb_2Fe(CN)_6\downarrow + 4KC_2H_3O_2$$

【$Pb(C_2H_5)_4$】　$$\underset{\text{(苯溶液)}}{Pb(C_2H_5)_4\ (1\%)} + I_2(0.1N) \xlongequal{\text{剧烈振摇}} Pb(C_2H_5)_3I + C_2H_5I$$

$$Pb(C_2H_5)_4 + HCl = (C_2H_5)_3PbCl + C_2H_6$$

$$Pb(C_2H_5)_4 + PCl_5 \xrightarrow{\text{在二硫化碳中}} (C_2H_5)_3PbCl + PCl_3 + C_2H_5Cl$$

$$Pb(C_2H_5)_4 + CH_3COCl \xlongequal{\text{室温下}} (C_2H_5)_3PbCl + CH_3COC_2H_5$$

第五章　硼　　族

5.1　硼　$2s^2 2p^1$　B＝108.1

【B】

$$2B+3Cl_2 \xlongequal{\text{高温}} 2BCl3$$

（Br_2也有类似的反应）

$$4B+3O_2 \xlongequal{700℃} 2B_2O_3+690\text{千卡}$$

（燃烧发生红色火焰）

$$2B+3S_{(\text{气})} \xlongequal{\text{高温}} B_2S_3+112\text{千卡}$$

$$2B+N_2 \xlongequal{1[illegible]0℃} 2BN$$

$$4B+C \xlongequal{\text{电炉高温}} B_4C$$

$$2B+3Mg \xlongequal{\text{共熔}} Mg_3B_2$$

$$2B+2NH_3 \xlongequal{\text{灼烧}} 2BN+3H_2\uparrow$$

$$2B_{(\text{赤热})}+6H_2O_{(\text{气})} = 2B(OH)_3+3H_2\uparrow$$

$$10B+3P_2O_5 \xlongequal{800℃\text{以上}} 6P+5B_2O_3$$

$$4B+3CO_2 \xlongequal{\text{灼烧}} 2B_2O_3+3C$$

$$4B+3SiO_2 \xlongequal[\ ]{\text{灼烧}} 2B_2O_3+3Si$$

$$2B+ZrO_2 \xlongequal[1800℃]{\text{在真空中}} 2BO\uparrow+Zr$$

$$2B+2KOH_{(\text{浓})}+2H_2O = 2KBO_2+3H_2\uparrow$$

$B + 3HNO_3$（热、浓）$= H_3BO_3 + 3NO_2\uparrow$

$B + HNO_3$（浓）$+ H_2O = H_3BO_3 + NO\uparrow$

（B与非氧化性的酸无反应）

$2B + 3KNO_3 + 2KOH \xlongequal{共熔} 3KNO_2 + 2KBO_2 + H_2O$

（偏硼酸钾）

【B_2H_6】（二硼烷） **注：**BH_3不存在

$B_2H_6 + X_2 = B_2H_5X + HX$

（X_2代表F_2、Cl_2、Br_2、I_2）

$B_2H_6 + 6X_2 = 2BX_3 + 6HX$

$B_2H_6 + 3O_2$（空气）$\xlongequal{燃烧} B_2O_3 + 3H_2O$

$B_2H_6 + 2NH_3 = 2[H_3B\cdot NH_3]$

$2[H_3B\cdot NH_3] = NH_4[H_3B\cdot NH_2\cdot BH_3]$

$B_2H_6 + 6H_2O = 2B(OH)_3 + 6H_2\uparrow$

$B_2H_6 + 2CO = 2[H_3BCO]$

$B_2H_6 + 2KOH = K_2[B_2H_6O_2] + H_2$

$B_2H_6 + HI = B_2H_5I + H_2$

$2B_2H_5I + 2Na = B_4H_{10} + 2NaI$

【B_2O_3】 $2B_2O_3 + 4C \xlongequal{2500℃} B_4C + 3CO_2\uparrow$

$B_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \xlongequal{500℃以上} 2BCl_3 + 3CO\uparrow$

$B_2O_3 + 6Na = 3Na_2O + 2B$

（其他碱金属也有类似的反应）

$B_2O_3 + 3Mg \xlongequal{高温} 3MgO + 2B$

$B_2O_3 + 2NH_3 \xlongequal{灼热} 2BN + 3H_2O$

B_2O_3（固）$+ H_2O$（热、气）$= 2HBO_2\uparrow$

B_2O_3（固）$+ 3H_2O$（液）$= 2H_3BO_3$（溶液）

$$B_2O_3(固) + CuO(固) \xrightarrow{\triangle} Cu(BO_2)_2$$

（热时产物显绿色、冷时显兰色）

$$B_2O_3 + 4KOH \xrightarrow{共熔} K_4B_2O_5 + 2H_2O$$

$$B_2O_3 + 6NaOH \xrightarrow{熔化} 2Na_3BO_3 + 3H_2O$$

$$B_2O_3 + 6HCl(热、浓) = 2BCl_3 + 3H_2O$$

（溶于无水醇）

$$B_2O_3 + 6HBr(气) = 2BBr_3 + 3H_2O$$

（溶于无水醇）

$$B_2O_3 + 2H_4P_2O_7 \xrightarrow[共熔]{250℃} 2HBP_2O_7 + 3H_2O$$

$$B_2O_3 + 3H_2SO_4(100\%) + 3CaF_2 = 2BF_3 + 3CaSO_4 + 3H_2O$$

$$2B_2O_3 + Na_2CO_3 \xrightarrow{\triangle} Na_2B_4O_7 + CO_2\uparrow$$

$$2B_2O_3 + KBF_4 = K[B_4O_6F] + BF_3\uparrow$$

$$B_2O_3 + 3H_2SO_4(热、浓) + 6KBF_4 = 3K_2SO_4 + 8BF_3 + 3H_2O$$

【BO】 $3BO = B_2O_3 + B$

【HBO_2】 $4HBO_2 \xrightarrow[-H_2O]{140—160℃} H_2B_4O_7 + H_2O$

$$HBO_2 + NaOH = NaBO_2 + H_2O$$

$$HBO_2 + H_2SO_4(发烟) + SO_3 = B(OH)SO_4 \cdot SO_3 + H_2O$$

$$6HBO_2 + 5KI + KIO_3 \xrightarrow{己六醇} 6KBO_2 + 3I_2 + 3H_2O$$

$$HBO_2 + 2C_4H_6O_6 = BC_4O_6H_3 \cdot C_4O_6H_6 + 2H_2O$$

【H_3BO_3】 $2H_3BO_3 \xrightarrow{强热} B_2O_3 + 3H_2O$

$$H_3BO_3 \xrightarrow[-H_2O]{100℃} HBO_2 + H_2O$$

$$4H_3BO_3 \underset{}{\overset{100℃}{\rightleftharpoons}} 4HBO_2 \overset{140℃}{\rightleftharpoons} \underset{(硼酸)}{H_2B_4O_7} \overset{高温}{\rightleftharpoons} 2B_2O_3$$

$$H_3BO_3 + Na_2O_2 = NaBO_3 + NaOH + H_2O$$

$$2H_3BO_3 + 3CaO = Ca_3(BO_3)_2 + 3H_2O$$

$$Ca_3(BO_3)_2 \xlongequal{蒸干灼烧} B_2O_3 + 3CaO$$

$$4H_3BO_3 + 2NaOH = Na_2B_4O_7 + 7H_2O$$

$$H_3BO_3 + NaOH(过量) = NaBO_2 + 2H_2O$$

$$2H_3BO_3 + Ca(OH)_2 = Ca(BO_2)_2 + 4H_2O$$

$$H_3BO_3 + NaOH + H_2O_2 = NaBO_3 + 3H_2O$$

$$4H_3BO_3 + Ba(OH)_2 = BaB_4O_7 + 7H_2O$$

$$H_3BO_3 + 3HF(48\%) \rightleftharpoons BF_3 + 3H_2O$$

$$BF_3 + HF = H[BF_4]$$

$$H_3BO_3 + H_3PO_4 \xlongequal{\triangle} BPO_4 + 3H_2O$$

$$4H_3BO_3 + 2NaCl \xlongequal{共热} Na_2B_4O_7 + 2HCl + 5H_2O$$

$$4H_3BO_3 + 2NaCl + 2NH_3 = Na_2B_4O_7 + 2NH_4Cl + 5H_2O$$

$$2H_3BO_3 + CaCl_2 \xlongequal[NaCl、KCl参加]{共熔} CaO \cdot B_2O_3 + 2HCl + 2H_2O$$

$$H_3BO_3 + 2NaHF_2 = NaBF_4 + NaOH + 2H_2O$$

$$4H_3BO_3 + Na_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Na_2B_4O_7 + H_2SO_4 + 5H_2O$$

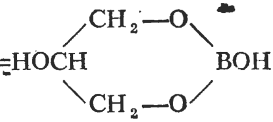
$$4H_3BO_3 + Na_2CO_3(过量) \xlongequal{\triangle} Na_2B_4O_7 + CO_2\uparrow + 6H_2O$$

$$2H_3BO_3 + Ca(HCO_3)_2 = Ca(BO_2)_2\downarrow + 2CO_2 + 4H_2O$$

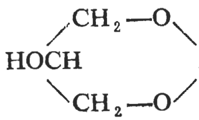
$$H_3BO_3 + 3CH_3OH \xlongequal{浓H_2SO_4} (CH_3O)_3BO_3 + 3H_2O$$

（硼酸三甲酯）

$$H_3BO_3 + C_3H_5(OH)_3（甘油） \xlongequal{\quad}$$



$$+ 2H_2O$$



$$+ NaOH \xlongequal{\quad} C_3H_5(OH) \cdot NaBO_3 + H_2O$$

$$H_3BO_3 + 3C_2H_5OH \xlongequal{少量浓H_2SO_4} B(C_2H_5O)_3 + 3H_2O$$

【$LiBO_2$】　$2LiBO_2 \cdot 8H_2O + H_2O_2$（过量）$\xlongequal[然后在40℃真空蒸发]{0℃，无水乙醇} Li_2B_2O_5\downarrow + 9H_2O$

（白色）

【KBO_2】　$KBO_2 + H_2C_2O_4 \xlongequal{煮沸} (BO)KC_2O_4 + H_2O$

$$KBO_2 + 2KC_4O_6H_5 \xlongequal{\quad} KB(C_4O_6H_4)_2\downarrow + 2KOH$$

（络盐）

【$NaBO_2$】　$NaBO_2 + 2H_2O \rightleftharpoons H_3BO_3 + NaOH$

（在稀溶液中进行）

$$4NaBO_2 + CO_2 + 10H_2O \xlongequal{\quad} Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O + Na_2CO_3$$

$$Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O \xlongequal{\triangle} B_2O_3 + 2NaBO_2 + 10H_2O$$

$$Na_2B_4O_5(OH)_4 \cdot 8H_2O \xlongequal{380-400℃} Na_2B_4O_7 + 10H_2O$$

$$NaBO_2 + 3NaF + 4H_2O = NaBO_2 \cdot 3NaF \cdot 4H_2O$$

$$NaBO_2 + 2C_4H_6O_6 + 2NaOH = NaBC_4O_6H_2 \cdot Na_2C_4O_6H_4 + 4H_2O$$

$$NaBO_2 + 2NaC_4O_6H_5 = Na_2C_4O_6H_4 \cdot NaC_4O_6H_5 \cdot HBO_2$$

$$NaBO_2 + Na_2C_4O_6H_4 = \underset{\text{(络盐)}}{Na_3BOC_4O_6H_2} + H_2O$$

$$4NaBO_2 + 2Cu(BO_2)_2 + 2C \xlongequal{\triangle} 2Na_2B_4O_7 + 2CO\uparrow + 2Cu$$

【$Na_2B_4O_7$】 $9Na_2B_4O_7 + 3I_2 = 6Na_2B_6O_{10} + 5NaI + NaIO_3$

$$Na_2B_4O_7 + 3H_2O \rightleftharpoons 2NaBO_2 + 2H_3BO_3$$

（在浓溶液中进行）

$$Na_2B_4O_7 + 2NaOH = 4NaBO_2 + H_2O$$

$$Na_2B_4O_7\text{(饱和)} + 2NaOH + 4H_2O_2 = \underset{\text{(过硼酸钠)}}{4NaBO_3} + 5H_2O$$

$$Na_2B_4O_7 + 12HF = Na_2O(BF_3)_4 + 6H_2O$$

$$Na_2B_4O_7 + 2HCl + 5H_2O = 4H_3BO_3 + 2NaCl$$

$$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O + 2HCl = 4H_3BO_3 + 2NaCl + 5H_2O$$

$$Na_2B_4O_7 + 2HCl + 5H_2O = 4H_3BO_3 + 2NaCl$$

$$Na_2B_4O_7 + 2HI = H_2B_4O_7 + 2NaI$$

$$Na_2B_4O_7 + 2HCN = H_2B_4O_7 + 2NaCN$$

$$Na_2B_4O_7(\text{蒸干}) + H_2SO_4(\text{浓}) + 5H_2O = Na_2SO_4 + 4H_3BO_3$$

$$Na_2B_4O_7 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2B_2O_3 + H_2O$$

$$Na_2B_4O_7 + 6CaF_2 + 7H_2SO_4 = 6CaSO_4 + 7H_2O + 4BF_3 + Na_2SO_4$$

$$Na_2B_4O_7 + 2NH_4Cl \xlongequal{\text{共煮}} 2NaCl + 2B_2O_3 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$Na_2B_4O_7 + BaCl_2 + 3H_2O = Ba(BO_2)_2 + 2NaCl + 2H_3BO_3$$

$$Na_2B_4O_7 + CaSO_4 = CaB_4O_7\downarrow + Na_2SO_4$$

（利用此反应除去硬水中的Ca^{2+}）

$$Na_2B_4O_7 + (NH_4)_2SO_4 \xlongequal{\text{常温}} (NH_4)_2B_4O_7 + Na_2SO_4$$

$$Na_2B_4O_7 + MnSO_4 = MnB_4O_7\downarrow + Na_2SO_4$$

$$Na_2B_4O_7 + 2MnSO_4 + 5H_2O \xlongequal{22^\circ C} 2MnH_4(BO_3)_2\downarrow + Na_2SO_4 + H_2SO_4$$

$$Na_2B_4O_7 + 2AgNO_3 + 6H_2O = 4H_3BO_3 + \underset{(\text{棕色})}{Ag_2O\downarrow} + 2NaNO_3$$

$$Na_2B_4O_7 + 2Na_2CO_3 \xlongequal{\text{共熔}} Na_6B_4O_9 + 2CO_2\uparrow$$

$$Na_2B_4O_7 + 2Na_2CO_3 + H_2O = 4NaBO_2 + 2NaHCO_3$$

$$B_4O_7^{2-}(\text{浓}) + Ca^{2+} + 3H_2O \rightleftharpoons Ca(BO_2)_2\downarrow + 2H_3BO_3$$

$$B_4O_7^{2-}(\text{浓}) + Ba^{2+} + 3H_2O \rightleftharpoons Ba(BO_2)_2 + 2H_3BO_3$$

$$B_4O_7^{2-}(\text{浓}) + Cd^{2+} + 3H_2O \rightleftharpoons Cd(BO_2)_2\downarrow + 2H_3BO_3$$

[$(NH_4)_2B_4O_7$] $(NH_4)_2B_4O_7 + 2NaCl = Na_2B_4O_7 + 2NH_4Cl$

$(NH_4)_2B_4O_7 + Na_2SO_4 = Na_2B_4O_7 + (NH_4)_2SO_4$

[CaB_4O_7] $2CaB_4O_7 + SiF_4 = 4B_2O_3 + SiO_2 + 2CaF_2$

$3CaB_4O_7 + 2Na_3PO_4 \xlongequal{\text{共熔}} 3Na_2B_4O_7 + Ca_3(PO_4)_2$

$3CaB_4O_7 + Na_2SiF_6 + 4H_2O = Na_2H_4B_{12}O_{21} + 3CaF_2 + H_4SiO_4$

[$Ca_2B_6O_{11}$] $2Ca_2B_6O_{11} + 3Na_2CO_3 + CO_2 = 3Na_2B_4O_7 + 4CaCO_3$

$2Ca_2B_6O_{11} + 2Na_2CO_3 + 2NaHCO_3 = 3Na_2B_4O_7 + 4CaCO_3 + H_2O$

[$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O$](硼镁矿). $Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O + 2NaOH = 2NaBO_2 + 2Mg(OH)_2\downarrow$

$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O + 2H_2SO_4 = 2MgSO_4 + 2B(OH)_3$

$Mg_2B_2O_5 \cdot H_2O + 2H_2SO_4 = H_3BO_3 + [2MgSO_4 + H_3BO_3]$ (硼镁肥)

[BF_3] $BF_3 + NH_{3(\text{干})} = F_3BNH_3$

$4F_3BNH_3 = BN + 3NH_4BF_4$

$BF_3 + 3H_2O = H_3BO_3 + 3HF + 20.7$千卡

$4BF_3 + 6H_2O = 3H_3O^+ + 3BF_4^- + B(OH)_3$

$BF_{3(\text{过量})} + HF = H[BF_4]$

$H[BF_4] + H_2O \rightleftharpoons H[BOF_2] + 2HF$

$2BF_3 + 3H_2S = B_2S_3 + 6HF$

$4BF_3 + 2Na_2CO_{3(\text{溶液})} = 4Na^+ + 2CO_2 + 3BF_4^- + BO_2$

$$4BF_3 + 2Na_2CO_3 + 2H_2O$$
$$= 3NaBF_4 + Na[B(OH)_4] + 2CO_2\uparrow$$

$$4BF_3 + 3LiAlH_4 = 2B_2H_6\uparrow + 3LiF + 3AlF_3$$

（反应在乙醚中进行）

【BCl_3】 $BCl_3 + Al \xlongequal{高温} AlCl_3 + B$

（用Fe也有类似的反应）

$$BCl_3 + 3NH_3 = B(NH_2)_3 + 3HCl$$

$$BCl_3 + 3H_2O = B(OH)_3 + 3HCl\uparrow$$

$$2BCl_3 + 3SO_3 \xlongequal{120℃} B_2O_3 + 3SO_2Cl_2$$

（BBr_3·BI_3也有类似的反应）

$$2BCl_3 + Al_2O_3 = 2AlCl_3 + B_2O_3$$

$$BCl_3 + 3HF \rightleftharpoons BF_3 + 3HCl$$

（BBr_3和BI_3与BCl_3相似）

【BBr_3】和【BI_3】 $2BBr_{3(气)} + 3H_{2(气)} \xlongequal[1200-1400℃]{W或Ta}$

$$2B_{(固)} + 6HBr\uparrow$$

$$2BI_3 \xlongequal{800-1000℃} 2B + 3I_2$$

【B_2S_3】 $B_2S_3 + 6H_2O = 2H_3BO_3 + 3H_2S$

【Mg_3B_2】 $Mg_3B_2 + 6HCl = B_2H_6 + 3MgCl_2$

【$NaBH_4$】 $3NaBH_4 + 4BF_3 \xlongequal{醚中} 3NaBF_4 + 2B_2H_6$

【KBF_4】 $KBF_4 + H_2O = K[HOBF_3] + HF$

【$B_3N_3H_6$】 $2B_3N_3H_{6(液)} + 15O_{2(气)} = 3N_2O_5\uparrow + 3B_2O_3\downarrow$

$$+ 6H_2O$$

5.2 铝 $3s^2 3p^1$ Al＝26.9815

【Al】 $2Al_{(粉)} + 3Br_2 \xlongequal{燃烧} 2AlBr_3$

（卤素元素均有类似的反应）

$4Al + 3O_2 \xlongequal{高温燃烧} 2Al_2O_3 + 798千卡$

$2Al + N_2 \xlongequal{800℃以上} 2AlN + 64千卡/摩尔\ AlN$

$AlN + 3H_2O \xlongequal{} Al(OH)_3 + NH_3$

（反应较慢）

$Al_{(粉)} + P \xlongequal{燃烧} AlP$

$AlP + 3H_2O \xlongequal{} Al(OH)_3 + PH_3$

$2Al + 2NH_3 \xlongequal{高温} 2AlN + 3H_2\uparrow + 136千卡$

$2Al + 6H_2O \xlongequal{\triangle} 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2\uparrow$

（去掉Al_2O_3以后的Al）

$4Al + 3MnO_2 \xlongequal{\triangle} 2Al_2O_3 + 3Mn$

$8Al + 3Mn_3O_4 \xlongequal{\triangle} 4Al_2O_3 + 9Mn$

$2Al + Cr_2O_3 \xlongequal{\triangle} 2Cr + Al_2O_3$

$4Al + 3TiO_2 + 3C \xlongequal{高温煅烧} 2Al_2O_3 + 3TiC$

注：铝热剂焊接钢轨的主要化学反应方程式：

$2Al + 3FeO \xlongequal{引燃} Al_2O_3 + 3Fe + 199.5千卡$

（主要发生的反应）

$2Al + Fe_2O_3 \xlongequal{引燃} Al_2O_3 + 2Fe + 198.3千卡$

$8Al + 3Fe_3O_4 \xlongequal{引燃} 4Al_2O_3 + 9Fe + 773.3千卡$

（要求 FeO 含量达60%，Fe_2O_3和 Fe_3O_4少量，S和P含量在0.05%以下）

$$2Al + 6NaOH(浓) = 2Na_3AlO_3 + 3H_2\uparrow$$

$$2Al + 2NaOH + 6H_2O \xlongequal{\triangle} 2NaAl(OH)_4 + 3H_2\uparrow$$

$$2NaAl(OH)_4 = 2NaAlO_2 + 4H_2O$$

总式：$2Al + 2NaOH + 2H_2O \xlongequal{\triangle} 2NaAlO_2 + 3H_2\uparrow$

（即Al与稀NaOH溶液反应）

$$2Al + 6HCl(稀) = 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

（浓HCl与Al反应很慢，加$HgCl_2$溶液时能促进反应。在HCl气流内加热Al，也可以得到$AlCl_3$）

$$2Al(赤热) + 6HF(气) \xlongequal{\triangle} 2AlF_3 + 3H_2\uparrow$$

$$2Al + 6H^+ = 2Al^{3+} + 3H_2\uparrow$$

注：Al在常温时与H_2S不发生反应。

$$2Al + 3H_2SO_4(稀) = Al_2(SO_4)_3 + 3H_2\uparrow$$

（Al在常温下与浓H_2SO_4不起反应，成"钝态"。）

注：冷的HNO_3不管浓、稀都对Al无作用，因生成Al_2O_3保护层，加热时发生猛烈反应。成"钝态"的铝不再与稀H_2SO_4、稀HCl作用。Al跟HNO_3的反应，同Zn跟HNO_3的反应，其反应产物由HNO_3的浓度而定的，详细情况，请参看Zn。

$$2Al + 3Ag_2S + 6H_2O \xlongequal{\triangle} 2Al(OH)_3 + 6Ag + 3H_2S$$

$$2Al + NO_2^- + OH^- + H_2O = 2AlO_2^- + NH_3$$

（Mg、Zn均能发生类似的反应）

$$8Al + 3NaNO_3 + 5NaOH + 2H_2O \xlongequal{共煮} 8NaAlO_2(偏铝酸钠) + 3NH_3\uparrow$$

【Al_2O_3】　$2Al_2O_3(熔化) \xlongequal[1000℃]{电解} 4Al(阴极) + 3O_2\uparrow(阳极)$

$$2Al_2O_3 + 9F_2 = 4AlF_3 + 3O_2F_2$$

$$Al_2O_3 + 3Cl_2 + 3C = 2AlCl_3 + 3CO\uparrow$$

$$Al_2O_3 + 3Cl_2 + 3CO = 2AlCl_3 + 3CO_2\uparrow$$

$$Al_2O_3 + N_2 + 3C + 140\text{千卡} \xlongequal{1700℃} 2AlN + 3CO\uparrow$$

$$2Al_2O_3 + 6C \xlongequal{2000℃} Al_4C_3 + 3CO_2\uparrow$$

$$Al_4C_3 + 12H_2O = 4Al(OH)_3 + 3CH_4$$

$$Al_2O_3 + CoO = \underset{\text{(蓝色)}}{Co(AlO_2)_2}$$

$$Al_2O_3 + 2kOH \xlongequal{\text{熔化}} 2kAlO_2 + H_2O$$

$$Al_2O_3 \cdot 3H_2O + 2NaOH = 2NaAlO_2 + 4H_2O$$

$$Al_2O_3 + 2OH^- = 2AlO_2^- + H_2O$$

$$\underset{\text{(铝矾士)}}{Al_2O_3} + 2NaOH + 3H_2O \xlongequal{\text{高气压}} \underset{\text{(铝酸钠)}}{2Na[Al(OH)_4]}$$

$$2Na[Al(OH)_4] + CO_{2(\text{气})} = 2Al(OH)_3\downarrow + Na_2CO_3 + H_2O$$

$$\underset{\text{(可制得纯}Al_2O_3\text{)}}{2Al(OH)_3 \xlongequal{\text{灼烧}} Al_2O_3 + 3H_2O}$$

$$Na[Al(OH)_4] + NH_4Cl = NaCl + Al(OH)_3\downarrow + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$Al_2O_{3(\text{红热})} + 6HF_{(\text{气})} \xlongequal{\triangle} 2AlF_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Al_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 \cdot 3H_2O + 3H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$Al_2O_3 + 6H^+ = 2Al^{3+} + 3H_2O$$

$$Al_2O_{3(\text{强热})} + 6HNO_{3(\text{热、浓})} = \underset{\text{(结晶)}}{2Al(NO_3)_3} + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 + 6HCNS = 2Al(CNS)_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_{3(\text{固})} + Na_2CO_{3(\text{固})} \xlongequal{\text{共熔}} 2NaAlO_2 + CO_2\uparrow$$

$$NaAlO_2(固) + 2H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3\downarrow + NaOH$$

$$2[Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O] + 4Na_2CO_3 \xlongequal{熔融} 2Na_2SiO_3 + 4NaAlO_2 + 4CO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$Al_2O_3 + 6KHSO_4 \xlongequal{熔融} Al_2(SO_4)_3 + 3K_2SO_4 + 3H_2O$$

【$Al(OH)_3$】 $2Al(OH)_3 \xlongequal[300℃]{煅烧} Al_2O_3 + 3H_2O\uparrow$

$$2Al(OH)_3 \xlongequal{在密封管内长期加热} AlO(OH) + H_2O$$

（偏氢氧化铝即水铝石）

$$Al^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_3 \equiv H_3AO_3 \rightleftharpoons H^+ + AlO_2^- + H_2O$$

（加酸、加碱都能引起平衡移动，促使$Al(OH)_3$沉淀溶解）

$$Al(OH)_3 + KOH（浓、过量） = K[Al(OH)_4]$$

$$Al(OH)_3 + NaOH（适量） = NaAlO_2 + 2H_2O$$

$$Al(OH)_3 + OH^- = AlO_2^- + 2H_2O$$

$$Al(OH)_3 + OH^- = [Al(OH)_4]^-$$

$$Al(OH)_3 + 3HCl = AlCl_3 + 3H_2O$$

$$2Al(OH)_3 + 12HF + 3Na_2CO_3 = 2Na_3[AlF_6] + 3CO_2 + 9H_2O$$

（冰晶石）

$$Al(OH)_3 + 3C_{14}H_6O_2(OH)_2 = Al(C_{14}H_7O_4)_3\downarrow + 3H_2O$$

（茜素）

【$NaAlO_2$】 $NaAlO_2 + 2H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3\downarrow + NaOH$

（若加OH^-使溶液pH = 11.8时，则不发生水解。）

$$NaAlO_2 + H_2O_2 + 5H_2O \xlongequal{冷} NaAlO_3 \cdot 6H_2O$$

$$NaAlO_2 + 4HCl = NaCl + AlCl_3 + 2H_2O$$

$$NaAlO_2 + HCl + H_2O = Al(OH)_3\downarrow + NaCl$$

$$2NaAlO_2 + CO_2 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + Na_2CO_3$$

$$NaAlO_2 + CH_3COOH + H_2O = Al(OH)_3\downarrow + CH_3COONa$$

$$NaAlO_2 + H_2O + NH_4Cl \rightleftharpoons Al(OH)_3\downarrow + NaCl + NH_3$$

$$2NaAlO_2 + CaCl_2 = Ca(AlO_2)_2\downarrow + 2NaCl$$

$$NaAlO_2 + Na_2CO_3 + NaOH + 4HCl = 4NaCl + HAlO_2 + 2H_2O + CO_2$$

$$2NaAlO_2 + 2Na_2SiO_3 + 4H_2O = Na_2O\cdot Al_2O_3\cdot 2SiO_2\cdot 2H_2O + 4NaOH$$

【Na_3AlO_3】 $Na_3AlO_3 + H_2O_2 + 8H_2O = Na_3AlO_4\cdot 9H_2O$

$$2Na_3AlO_3 + 4Ca(OH)_2 + 20H_2O = Ca_4Al_2O_7\cdot 21H_2O + 6NaOH$$

$$Na_3AlO_3 + 3NH_4Cl \xlongequal{\text{煮沸}} Al(OH)_3 + 3NaCl + 3NH_3\uparrow$$

$$2Na_3AlO_3 + 5Na_2CO_3 + 5H_2O = (Na_2O)_3\cdot Al_2O_3\cdot 5CO_2\downarrow + 10NaOH$$

【$Na[Al(OH)_4]$】 $Na[Al(OH)_4] = NaAlO_2\cdot 2H_2O$

$$2Na[Al(OH)_4] + CO_2 = 2Al(OH)_3\downarrow + Na_2CO_3 + H_2O$$

【$AlCl_3$】 $AlCl_3 + 2Al \underset{\text{冷却}}{\overset{1000℃\text{以上}}{\rightleftharpoons}} 3AlCl$

$$AlCl_{3(\text{无水})} + 6NH_{3(\text{气})} = AlCl_3\cdot 6NH_3$$

（白色粉末状）

$$AlCl_3 + 4LiH \xlongequal{\text{无水乙醚中}} 3LiCl + LiAlH_4$$

（铝氢化锂）

$$3LiAlH_4 + AlCl_3 \xlongequal{\text{在乙醚中}} 3LiCl\downarrow + 4AlH_3$$

$$2AlH_3 \xlongequal{100℃} 2Al + 3H_2\uparrow$$

$$AlCl_{3(固)} + 3H_2O\ (空中) \rightleftharpoons Al(OH)_3 + 3HCl\uparrow$$

(使$AlCl_3$在空气中冒白烟，$AlBr_3$、AlI_3有类似的反应)

$$AlCl_3 + 3H_2O_{(过量)} \rightleftharpoons Al(OH)_3 + HCl$$

(在过量水中则发生可逆性水解)

$$2AlCl_3 + 3ZnO + 3H_2O = 2Al(OH)_3 + 3ZnCl_2$$

$$AlCl_3 + 3NaOH = Al(OH)_3\downarrow + 3NaCl$$

$$AlCl_3 + KCl = AlCl_3\cdot KCl$$

(复盐)

$$2AlCl_{3(固)} + NaC_{(固)} + KCl_{(固)} \xlongequal{熔化} NaCl\cdot KCl\cdot 2AlCl_3$$

$$2AlCl_3 + BaCl_2 = (AlCl_3)_2\cdot BaCl_2$$

$$4AlCl_3 + 3ZnCl_2 = (AlCl_3)_4\cdot 3ZnCl_2$$

$$2AlCl_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 6NH_4Cl + 3H_2S\uparrow$$

($AlCl_3$与Na_2S在溶液中的反应类似)

$$AlCl_3 + 3AgNO_3 = 3AgCl\downarrow + Al(NO_3)_3$$

($AlBr_3$也有类似的反应)

$$AlCl_3 + (NH_4)_2HPO_4 \rightleftharpoons \underset{(白色)}{AlPO_4}\downarrow + 2NH_4Cl + HCl$$

$$AlPO_4 + 3H_2O = Al(OH)_3\downarrow + H_3PO_4$$

$$2AlCl_3 + 3K_2CO_3 = Al_2(CO_3)_3 + 6KCl$$

$$Al_2(CO_3)_3 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

$$2AlCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 6NaCl + 3CO_2\uparrow$$

$$AlCl_3 + 3(NH_4)_2C_2O_4 = (NH_4)_3[Al(C_2O_4)_3] + 3NH_4Cl$$

$$AlCl_3 + 3NaCH_3COO + 2H_2O \rightleftharpoons 3NaCl + Al(OH)_2CH_3COO + 2CH_3COOH$$

$$AlCl_3 + 3HC_9H_6ON = Al(C_9H_6ON)_3\downarrow + 3HCl$$

(8-羟基喹啉)　　(8-羟基喹啉铝、黄色)

(此反应用来检验Al^{3+})

【AlI_3】 $4AlI_3 + 3CCl_4 = 4AlCl_3 + 3CI_4$

(深红色固体)

($AlBr_3$有类似的反应)

【Al_2S_3】 $2Al_2S_3 + 9O_2 \xlongequal{燃烧} 2Al_2O_3 + 6SO_2$

$$Al_2S_3 + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S$$

注：弱酸、弱碱所生成的盐，如果水解生成的酸和碱极弱，且是挥发性或溶解性很小的，则水解可进行到底。

【AlP】 $AlP + 3H_2O = Al(OH)_3\downarrow + PH_3\uparrow$

【Al_4C_3】 $Al_4C_3 + 12H_2O = 4Al(OH)_3\downarrow + 3CH_4$

【$Al_2(SO_4)_3$】 $Al_2(SO_4)_3 \xlongequal{强热} Al_2O_3 + 3SO_3\uparrow$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3\downarrow + 3SO_4^{2-} + 6H^+$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6NH_3\cdot H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 2HCl_{(浓)} + 6H_2O = (AlSO_4Cl)_2\cdot 6H_2O + H_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_{4(冷、浓)} + 7H_2O \xlongequal{\triangle} Al_2(SO_4H)_6\cdot 7H_2O$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 5KI + KIO_3 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3K_2SO_4 + 3I_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 12NaF \xlongequal{共熔} 3Na_2SO_4 + 2Na_3AlF_6$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 4NaCl + 8H_2O \xlongequal[2—3小时]{130—140℃} Al_2O_3\cdot SO_3\cdot 6H_2O + 2Na_2SO_4 + 4HCl$$

$$2Al_2(SO_4)_{3(固)} + 2Co(NO_3)_2 \xlongequal{灼烧} 2Co(AlO_2)_2 + 6SO_3\uparrow + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$Al_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 24H_2O = K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$$

$$Al_2(SO_4)_3 + Na_2SO_4 + 24H_2O = Na_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_{3(细粉)} \xlongequal[放冷]{小量水处理} Al_2(SO_3)_3 + 3Na_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4 + 3CO_2\uparrow$$

$$2Al_2(SO_4)_3 + Na_2CO_3 + 11H_2O = Al_4(OH)_{10}CO_3 \cdot H_2O + Na_2SO_4 + 5H_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3\downarrow + 6CO_2$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 6CH_3COONa = 2Al(CH_3COO)_3 + 3Na_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Na_2B_4O_7 \cdot H_2O = 3Na_2SO_4 + 2AlH_3(BO_2)_6\downarrow$$

$$2AlH_3(BO_2)_6 = 2Al(OH)_3 + 6B_2O_3$$

$$Al_2(SO_4)_{3(固)} + 2Na_3AlF_6 \xlongequal{共熔} \underset{(白色)}{4AlF_3\downarrow} + 3Na_2SO_4$$

[Al^{3+}] $Al^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons Al(OH)_3$

$$Al^{3+} + 3NH_3 \cdot H_2O = Al(OH)_3\downarrow + 3NH_4^+$$

$$2Al^{3+} + 3S^{2-} + 6H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$$

$$2Al^{3+} + 3S_2O_3^{2-} + 3H_2O$$

$$\overset{煮沸}{=\!=\!=} 2Al(OH)_3\downarrow + 3SO_2\uparrow + 3S$$

$$Al^{3+} + 2HPO_4^{2-} \rightleftharpoons AlPO_4\downarrow + H_2PO_4^-$$

$$AlPO_4 + 4OH^- = AlO_2^- + PO_4^{3-} + 2H_2O$$

$$2Al^{3+} + 3CO_3^{2-} + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

（白色胶状）

$$Al^{3+} + 3CH_3COO^- \rightleftharpoons Al(CH_3COO)_3$$（在冷溶液中）

$$Al(CH_3COO)_3 + 2H_2O \overset{煮沸}{=\!=\!=} Al(OH)_2C_2H_3O_2 + 2CH_3COOH$$

【$Al(NO_3)_3$】 $4Al(NO_3)_3 \overset{\triangle}{=\!=\!=} 2Al_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

【$Al_2(CO_3)_3$】 $Al_2(CO_3)_3 \overset{微热}{=\!=\!=} Al_2O_3 + 3CO_2\uparrow$

$$Al_2(CO_3)_3 + 3H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

【$Al(CH_3COO)_3$】 $Al(CH_3COO)_3 + 3H_2O \overset{\triangle}{=\!=\!=} 2Al(OH)_2CH_3COO\downarrow + 2CH_3COOH$

【$Al_2Si_2O_5\cdot(OH)_4$】 $Al_2Si_2O_5\cdot(OH)_4 + 3H_2SO_4 = 2H_2SiO_3 + Al_2(SO_4)_3 + 3H_2O$

【$KAl(SO_4)_2\cdot 12H_2O$】（明矾） 明矾水解：

$$KAl(SO_4)_2 \rightleftharpoons K^+ + Al^{3+} + 2SO_4^{2-}$$

$$Al^{3+} + 3H_2O = Al(OH)_3 + 3H^+$$

（胶状）

$$KAl(SO_4)_2\cdot 12H_2O + 3KOH = Al(OH)_3\downarrow + 2K_2SO_4 + 12H_2O$$

$$KAl(SO_4)_2 + 4KOH = KAlO_2 + 2K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$4KAl(SO_4)_2 + 6NaOH = Al_2(SO_4)_3\cdot 2Al(OH)_3 + 2K_2SO_4 + 3Na_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3\cdot 2Al(OH)_3 + 6NaOH = 4Al(OH)_3 + 3Na_2SO_4$$

$$2Al(OH)_3 + 3NaOH = Na_3AlO_3 \cdot Al(OH)_3 + 3H_2O$$

$$Na_3AlO_3 \cdot Al(OH)_3 + 3NaOH = 2Na_3AlO_3 + 3H_2O$$

$$2K \cdot Al(SO_4)_2 + 8NaOH = 2NaAlO_2 + K_2SO_4 + 3Na_2SO_4 + 4H_2O$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O + 6NH_4OH = 2Al(OH)_3 + 3(NH_4)_2SO_4 + K_2SO_4 + 24H_2O$$

$$2KAl(SO_4)_2 + 6NaHCO_3 = 2Al(OH)_3\downarrow + K_2SO_4 + 3Na_2SO_4 + 6CO_2\uparrow$$

（泡沫灭火器内的反应）

5.3　镓　$4s^24p^1$　Ga＝69.72

【Ga】　$Ga + Cl_2 \xlongequal{\text{不完全燃烧}} GaCl_2$

（无色透明）

$$2Ga + 3S \xlongequal{\triangle} Ga_2S_3$$

$$2Ga + 6HCl = 2GaCl_3 + 3H_2\uparrow$$

$$Ga + 2GaCl_3 \xlongequal{\triangle} 3GaCl_2$$

$$2Ga_{(固)} + MnO_4^- + 3H_2O = MnO_{2(固)} + 2Ga(OH)_{2(固)}$$

【Ga_2O_3】　$Ga_2O_3 + 4Ga \xlongequal{\triangle} 3Ga_2O$

【$Ga(OH)_3$】　$Ga(OH)_3 + NaOH = Na[GaO_2] + 2H_2O$

（镓酸钠）

【Ga_2S】　$3Ga_2S \xlongequal{\triangle} Ga_2S_3 + 4Ga$

【GaS】　$4GaS \xlongequal{\text{在真空中加热}} Ga_2S_3 + Ga_2S$

5.4 铟 $5s^2 5p^1$ In＝114.82

【In】 $In + Cl_2 \xlongequal{\triangle} InCl_2$

$2In + 3Cl_2 \xlongequal{\triangle} 2InCl_3$

（Cl_2先用干燥的CO_2稀释）

$2In + S \xlongequal{} In_2S$

$2In + 6HCl \xlongequal{} 2InCl_3 + 3H_2\uparrow$

（稀H_2SO_4可发生类似的反应）

$In + 2HCl_{(干燥)} \xlongequal[加热]{无O_2条件下} InCl_2 + H_2$

$2In + 6HClO_{4(稀)} + 16H_2O \xlongequal{} 2In(ClO_4)_3 \cdot 16H_2O + 3H_2\uparrow$

$2In + 6HNO_3 \xlongequal{} 2In(NO_3)_3 + 3H_2$

【In_2O_3】 $In_2O_3 + 3H_2 \xlongequal{} 2In + 3H_2O$

$In_2O_3 + 2H_2 \xlongequal{\triangle} In_2O + 2H_2O$

$2In_2O_3 + 6Cl_2 \xlongequal{\triangle} 4InCl_3 + 3O_2\uparrow$

$In_2O_3 + 6HCl \xlongequal{} 2InCl_3 + 3H_2O$

【$In(OH)_3$】 $2In(OH)_3 \xlongequal{灼烧} In_2O_3 + 3H_2O$

$In(OH)_3 + NaOH \xlongequal{} Na[InO_2] + 2H_2O$

$In(OH)_3 + 3NaOH_{(过量)} \xlongequal{} Na_3InO_3 + 3H_2O$

$2In(OH)_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} In_2(SO_4)_3 + 6H_2O$

$2In(OH)_3 + 3H_2SeO_4 + 4H_2O \xlongequal{} In_2(SeO_4)_3 \cdot 10H_2O\downarrow$

【Na_3InO_3】 $2Na_3InO_3 + 3(NH_4)_2CO_3 + 6H_2O \xlongequal{煮沸} 2In(OH)_3\downarrow + 3Na_2CO_3 + 6NH_4OH$

【InF_3】 $2InF_3 + 3H_2 \xlongequal{徐徐加热} 2In\downarrow + 6HF$

$2InF_3 + 3H_2O \xlongequal{煮沸} In_2O_3\downarrow + 6HF$

【InCl】 $3InCl \xlongequal[\triangle]{H_2O} InCl_3 + 2In$

【$InCl_2$】 $3InCl_2 \xlongequal[\triangle]{H_2O} 2InCl_3 + In$

【$InCl_3$】 $2InCl_3 + 3Zn \xlongequal{} 2In\downarrow + 3ZnCl_2$

$InCl_{3(气)} + 2In \underset{遇水}{\overset{\triangle}{\rightleftharpoons}} 3InCl$

$2InCl_3 + 6NaOH \xlongequal{} In_2O_3 \cdot 3H_2O + 6NaCl$

$InCl_3 + 3NaOH_{(过量)} \xlongequal{} In(OH)_3\downarrow + 3NaCl$

$In^{3+} + 3OH^- \xlongequal{} In(OH)_3\downarrow$

$2InCl_3 + 3H_2S \xlongequal{} \underset{(黄色)}{In_2S_3}\downarrow + 6HCl$

$InCl_3 + 3KIO_3 \xlongequal{} In(IO_3)_3\downarrow + 3KCl$

$2InCl_3 + 3Na_2S_2O_4 \xlongequal{} In_2(S_2O_4)_3 + 6NaCl$

$In_2(S_2O_4)_3 + 3Na_2S_2O_4 \xlongequal{}$

$In_2S_3 + 3Na_2SO_4 + 6SO_2\uparrow$

$8InCl_3 + 9Na_2SeO_3 + 28H_2O \xlongequal{} 18NaCl + 6HCl$

$+ [In_2(SeO_3)_3]_3 \cdot [In(OH)_3]_2 \cdot 22H_2O\downarrow$

$2InCl_3 + 3Na_2HPO_4 \xlongequal{} \underset{(白色)}{In_2(HPO_4)_3}\downarrow + 6NaCl$

$2InCl_3 + 2BaCO_3 + 2H_2O \xlongequal{} 2In(OH)CO_3$

$+ 2BaCl_2 + 2HCl$

$2InCl_3 + 3(NH_4)_2CO_3 \xlongequal{} In_2(CO_3)_3\downarrow + 6NH_4Cl$

$2InCl_3 + 3K_2CrO_4 \xlongequal{} \underset{(黄色)}{In_2(CrO_4)_3}\downarrow + 6KCl$

$$2InCl_3 + 3Na_2C_2O_4 = In_2(C_2O_4)_3\downarrow + 6NaCl$$
（白）

$$4InCl_3 + 3K_4Fe(CN)_6 = In_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow + 12KCl$$
（白色）

【In_2S】 $3InS = In_2S_3 + In$（歧代反应）

【In_2S_3】 $In_2S_3 + 2H_2 \overset{\triangle}{=} In_2S\downarrow + 2H_2S$
（黑色）

$$In_2S_3 + (NH_4)_2S = 2NH_4[InS_2]$$

【In_2S】 $2In_2S + 5O_2 \overset{\triangle}{=} 2In_2O_3\downarrow + 2SO_2$

【$In_2(SO_4)_3$】 $In_2(SO_4)_3 + 6H_2O = 2In(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$

$$In_2(SO_4)_3 + 6NH_4OH = 2In(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

$In_2(SO_4)_{3(稀)} + 3H_2S = In_2S_3\downarrow + 3H_2SO_4$
（黄色）

$$In_2(SO_4)_3 + H_2SO_{4(过量)} + 7H_2O = In_2(SO_4)_3\cdot H_2SO_4\cdot 7H_2O$$

$$In_2(SO_4)_3 + 4Na_2C_2O_4 + 6H_2O = 3Na_2SO_4 + 2[NaIn(C_2O_4)_2(H_2O)_2\cdot H_2O]$$

$$In_2(SO_4)_3 + 4K_2C_2O_4 + 6H_2O = 2[KIn(C_2O_4)_2(H_2O)_2\cdot H_2O) + 3K_2SO_4$$

$$In_2(SO_4)_3 + 4(NH_4)_2C_2O_4 + 6H_2O = 3(NH_4)_2SO_4 + 2[NH_4In(C_2O_4)_2\cdot(H_2O)_2\cdot H_2O]$$

$$In_2(SO_4)_3 + 2C_2H_5OH + 5H_2O = In_2O(SO_4)_2\cdot 6H_2O\downarrow + (C_2H_5)_2SO_4$$

【$In(NO_3)_3$】 $In(NO_3)_3 + 3NH_4OH = In(OH)_3\downarrow + 3NH_4NO_3$

$$4In(NO_3)_3 + 4NaHSO_{3(过量)} + 10H_2O \overset{\triangle}{=} 4NaNO_3$$

$$+8HNO_3 + In_2(SO_3)_3 \cdot 2[In(OH)_3] \cdot 5H_2O + SO_2\uparrow$$

[$(C_6H_5)_3In$]　$4(CH_3)_3In + O_2$

$$\xlongequal{低温} 2[(CH_3)_2In]_2O + 2C_2H_6$$

$$\underset{(苯溶液)}{4(C_6H_5)_3In} + O_2 \xlongequal[连续48小时]{迅速搅动} 2[(C_6H_5)_2In]_2O + 4C_6H_6$$

5.5　铊　$6s^2 6p^1$　Tl＝204.37

[Tl]　$2Tl + 3Cl_2 \xlongequal{高温} 2TlCl_3$

$$2Tl + H_2SO_4 = Tl_2SO_4 + H_2\uparrow$$

（反应较难进行，Tl不能与盐酸反应）

$$3Tl + 4HNO_{3(稀)} = 3TlNO_3 + NO + 2H_2O$$

[TlOH]　$2TlOH \xlongequal{100℃} \underset{(黑粉)}{Tl_2O} + H_2O$

$$TlOH + HNO_3 = TlNO_3 + H_2O$$

[$Tl(OH)_3$]　$Tl(OH)_3 + 3HCl = TlCl_3 + 3H_2O$

[TlCl]　$2TlCl + H_2S = \underset{(黑色)}{Tl_2S\downarrow} + 2HCl$

$$2TlCl + (NH_4)_2S = Tl_2S + 2NH_4Cl$$

[Tl_2SO_4]　$Tl_2SO_4 + Ba(OH)_2 = 2TlOH + BaSO_4\downarrow$

$$Tl_2SO_4 + 4K_3Fe(CN)_6 + 6KOH = 4K_4Fe(CN)_6 + Tl_2O_3 + K_2SO_4 + 3H_2O$$

[Tl_2CO_3]　$Tl_2CO_3 + 2HNO_3 = 2TlNO_3 + CO_2 + H_2O$

第六章 铜　族

6.1 铜 $3d^{10}4s^1$ $Cu=63.546$

【Cu】 $Cu + Cl_2 \xlongequal{燃烧} CuCl_2$（棕色）

$2Cu + O_2$（空气）$\xlongequal[1000℃以下]{\triangle} 2CuO$（黑色）

$2Cu + \underbrace{O_2 + H_2O + CO_2}_{\text{湿空气中}} \xlongequal{} Cu_2(OH)_2CO_3$（铜绿）

$6Cu$（红热）$+ 2NH_3$（气）$\xlongequal{} 2Cu_3N + 3H_2$

$2Cu$（还原铜）$+ NO_2 \xlongequal{25℃—30℃} Cu_2NO_2$（褐色）

$Cu + 2HCl$（浓）$+ H_2O_2 \xlongequal{} CuCl_2 + 2H_2O$

（单纯的HCl无作用）

$2Cu + 4HCl$（浓）$+ O_2 \xlongequal{\triangle} 2CuCl_2 + 2H_2O$

（必须有O_2才能反应，或生成$[CuCl_4]^{3-}$络离子）

$Cu + 2H_2SO_4$（浓）$\xlongequal{\triangle} CuSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$

$2Cu + 2H_2SO_4$（稀、热）$+ O_2$（足量）$\xlongequal{\triangle}$

$2CuSO_4 + 2H_2O$

（单纯的稀H_2SO_4、稀HCl与Cu不反应）

$3Cu + 8HNO_3$（稀）$\xlongequal{} 3Cu(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$

$Cu + 4HNO_3$（浓）$\xlongequal{} Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$

$$Cu + 2HNO_3(浓) + H_2SO_4 = CuSO_4 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

（实际得产物是$CuSO_4·5H_2O$）

$$Cu + 2FeCl_3 = CuCl_2 + 2FeCl_2$$

（无线电工业制印刷电路板用此反应）

$$2Cu + FeS \xlongequal{\triangle} Cu_2S\downarrow + Fe$$

$$2Cu + (NH_4)_2S = Cu_2S\downarrow + 2NH_3 + H_2$$

$$2Cu + 4NaCN + 2H_2O = 2Na[Cu(CN)_2] + 2NaOH + H_2\uparrow$$

$$3Cu + 6NaCN + Bi(OH)_3 = 3NaCu(CN)_2 + 3NaOH + Bi\downarrow$$

$$3Cu + 6NaCN + Na_3AsO_3 + 3H_2O = 3NaCu(CN)_2 \cdot 6NaOH + As\downarrow$$

$$3Cu + 6NaCN + 2H_2O + NaSbO_2 = 3NaCu(CN)_2 + Sb\downarrow + 4NaOH$$

【Cu_2O】

$$2Cu_2O + O_2 \xlongequal{\triangle} 4CuO$$

（加热不超过1000℃）

$$Cu_2O + C \xlongequal{\triangle} 2Cu + CO\uparrow$$

$$Cu_2O + M(活泼金属) \rightleftharpoons 2Cu + MO$$

（粗铜精炼的反应）

$$Cu_2O + SiO_2 \xlongequal{\triangle} Cu_2O \cdot SiO_2$$

$$Cu_2O(固) + BaO_2(固) \xlongequal{\triangle} 2CuO + BaO$$

$$Cu_2O + 4NH_4OH = 2[Cu(NH_3)_2OH] + 3H_2O$$

$$Cu_2O + 4HX = 2H[CuX_2] + H_2O$$

（X表示卤素）

$$Cu_2O + H_2SO_4(稀) = CuSO_4 + Cu + H_2O$$

$$Cu_2O + 6HNO_3 = 2Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 3H_2O$$

$Cu_2O + MgCl_{2(热)} + H_2O \xlongequal{} Cu_2Cl_2 + Mg(OH)_2$

$2Cu_2O_{(固)} + Cu_2S_{(固)} \xlongequal{\triangle} 6Cu\downarrow + SO_2\uparrow$

$5Cu_2O + 2CuP \xlongequal{} P_2O_5 + 12Cu\downarrow$

$3Cu_2O_{(固)} + 2KNO_{3(固)} \xlongequal{灼烧} 6CuO + 2NO + K_2O$

$3Cu_2O + K_2Cr_2O_7 + 10H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{} Cr_2(SO_4)_3 + 6CuSO_4 + K_2SO_4 + 10H_2O$

【CuO】 $4CuO \xlongequal{1000℃以上} 2Cu_2O + O_2\uparrow$

（Cu_2O在干态时稳定）

$CuO + H_2 \xlongequal{\triangle} Cu + H_2O$

$2CuO + C \xlongequal{高温} 2Cu + CO_2$

$CuO + Fe \xlongequal{共热} FeO + Cu$

$2CuO + Fe \xlongequal{共热} FeO + Cu_2O$

$CuO + Cu \xlongequal{高温} Cu_2O$

$2CuO + Zn_{(粉)} + 4HCl_{(浓)} \xlongequal{} Cu_2Cl_2 + ZnCl_2 + 2H_2O$

（小量）

$2CuO + 2SO_2 + O_2 \xlongequal{} 2CuSO_4$

（用SO_2制取$CuSO_4$的反应）

$CuO + CO \xlongequal{高温} Cu + CO_2\uparrow$

$2CuO + 3FeO \xlongequal{高温} Cu_2O + Fe_3O_4$

$CuO + 2H^+ \xlongequal{} Cu^{2+} + H_2O$

$CuO + 2HCl \xlongequal{} CuCl_2 + H_2O$

$CuO + H_2SO_4 \xlongequal{} CuSO_4 + H_2O$

$CuO + 2HNO_3 \xlongequal{} Cu(NO_3)_2 + H_2O$

$$CuO + 2CH_3COOH = Cu(CH_3COO)_2 + H_2O$$

$$3CuO + 2FeCl_3 \xlongequal{\triangle} Fe_2O_3 + 3CuCl_2$$

$$CuO + 2FeSO_4 + H_2O = CuSO_4 + Fe_2O_3 + SO_3 + H_2$$

$$3CuO + Fe_2(SO_4)_3 = 3CuSO_4 + Fe_2O_3$$

$$CuO + Na_2B_4O_7 \xlongequal{\text{共熔}} 2NaBO_2 + Cu(BO_2)_2$$

$$2CuO + 2(NH_4)_2S = Cu_2S + 4NH_3 + 2H_2O + S$$

$$2CuO + 2(NH_4)_2S_x = Cu_2S + 4NH_3 + S_{(2x-1)} + 2H_2O$$

$$4CuO + 2NH_2OH = N_2O + 2Cu_2O + 3H_2O$$

【$Cu(OH)_2$】 $Cu(OH)_2 \xlongequal{\text{微热}} CuO + H_2O$

$$Cu(OH)_2 + 4NH_3 = \underset{\text{(蓝色，可溶)}}{[Cu(NH_3)_4](OH)_2}$$

$$Cu^{2+} + 4NH_3 \cdot H_2O = [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + H_2O_2(15-30\%) \xlongequal{0℃} \underset{\text{(棕色)}}{CuO_2 \cdot H_2O} + H_2O$$

$$2(CuO_2 \cdot H_2O) \longrightarrow 2Cu(OH)_2\downarrow + O_2\uparrow$$

$$2CuO_2 + 2H_2O = 2Cu(OH)_2\downarrow + O_2\uparrow$$

$$2Cu(OH)_2 + CO_2 + H_2O = \underset{\text{(孔雀石)}}{CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2}\downarrow + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_{2(\text{结晶})} + NaOH_{(\text{浓})} \xlongequal{\text{共振动}} CuO + NaOH + H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + 2NaOH \rightleftharpoons \underset{\text{(铜酸钠)}}{Na_2[Cu(OH)_4]}$$

（碱金属氢氧化物均可）

$$Cu(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons HCuO_2^- + H_2O$$
（蓝色）

$$Cu(OH)_2 + 2OH^- = CuO_2^{2-} + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + 2HF = CuF_2 + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + 2HCl = CuCl_2 + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + H_2S = CuS\downarrow + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + H_2SO_4 = CuSO_4 + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + 2HNO_3 = Cu(NO_3)_2 + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + 2H^+ = Cu^{2+} + 2H_2O$$

$$3Cu(OH)_2 + 2KBr = Cu_2Br_2 \cdot Cu(OH)_2 \cdot H_2O + K_2O_2 \cdot H_2O$$

$$2K_2O_2 \cdot H_2O = 4KOH + O_2\uparrow$$

$$2Cu(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4 = Cu_2(OH)_2SO_4 + 2NH_3 + 2H_2O$$

$$Cu(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4 + 2NH_3 = CuSO_4 \cdot 4NH_3 + 2H_2O$$

$$2Cu(OH)_2 + (NH_2OH)_2 \cdot H_2SO_4 = Cu_2OSO_4 \cdot 2NH_2OH + 3H_2O$$

$$2Cu(OH)_2 + C_6H_{12}O_6 = Cu_2O\downarrow + C_6H_{12}O_7 + 2H_2O$$
（红色） （葡萄糖酸）

$$Cu(OH)_2 + C_3H_5(OH)_3 = C_3H_5(OH)O_2Cu + 2H_2O$$
（甘油铜）

【CuCl】 $$2CuCl + Cl_2 \overset{\text{红热}}{\rightleftharpoons} 2CuCl_2$$

$$CuCl + 2NH_3 \cdot H_2O = [Cu(NH_3)_2]^+ + Cl^- + 2H_2O$$
（除CuF外，其它的CuX都有此反应发生。X代表卤素）

$$CuCl_{(固)} + HCl_{(浓)} = HCuCl_2$$

（产物用水稀释时，可使CuCl重新沉淀出来）

【Cu_2Cl_2】 $Cu_2Cl_2 = CuCl_2 + Cu\downarrow$

$$2Cu_2Cl_2 + O_{2(空气)} = 2CuO + 2CuCl_2$$

$$Cu_2Cl_2 + 2CO \xlongequal{浓HCl中} Cu_2Cl_2 \cdot 2CO$$

（先将CuCl溶于HCl，再通入CO）

$$Cu_2Cl_2 \cdot 2CO + 4NH_3 + 2H_2O = 2NH_4Cl + 2Cu + \begin{matrix} COONH_4 \\ | \\ COONH_4 \end{matrix}$$

$$Cu_2Cl_2 + 2H_2O = 2CuOH\downarrow + 2HCl$$

$$Cu_2Cl_{2(新鲜的)} + H_2O = 2HCl + Cu_2O\downarrow$$

$$Cu_2Cl_2 + 2NaOH_{(稀、冷)} = 2CuOH + 2NaCl$$

$$Cu_2Cl_2 + 2NaOH_{(热)} = Cu_2O + 2NaCl + H_2O$$

$$Cu_2Cl_{2(盐酸溶液)} + 2NaOH = Cu_2O \cdot H_2O\downarrow + 2NaCl$$

$$Cu_2Cl_2 + 4HCl \rightleftharpoons 2H_2[CuCl_3]$$

$$Cu_2Cl_2 + 2KCl_{(稀)} = 2KCuCl_2$$

$$Cu_2Cl_2 + 4KCl_{(稀)} = 2K_2CuCl_3$$

（不同浓度的KCl还可能有K_3CuCl_4）

$$Cu_2Cl_2 + 2NH_4OH + HC \equiv CH = CuC \equiv CCu\downarrow + 2NH_4Cl + 2H_2O$$

$$Cu_2Cl_2 + \underset{(吡啶)}{4C_5H_5N} = \underset{(绿色)}{Cu_2(C_5H_5N)_4Cl_2}\downarrow$$

【$CuCl_2$】 $2CuCl_2 \xlongequal{990℃} 2CuCl + Cl_2\uparrow$

$$2[CuCl_2 \cdot 2H_2O] \xlongequal{\triangle} Cu(OH)_2 \cdot CuCl_2 + 2HCl\uparrow + 2H_2O$$

（用$Cu_2Cl_2 \cdot 2H_2O$加热得不到无水$CuCl_2$）

$$CuCl_{2(溶液)} \xlongequal{电解} Cu\downarrow + Cl_2\uparrow$$

$$CuCl_2 + H_2 \xlongequal{\triangle} Cu + 2HCl$$

$$CuCl_2 + Zn \xlongequal{} ZnCl_2 + Cu$$

$$CuCl_2 + Fe \xlongequal{} FeCl_2 + Cu$$

$$CuCl_2 + Cu \xlongequal{\triangle} 2CuCl$$

（白色结晶）

（$CuCl_2$溶液先用盐酸酸化）

$$4CuCl_2\ (\frac{1}{5}N) + 6KOH\ (\frac{1}{5}N) \xlongequal{85℃}$$

$$CuCl_2 \cdot (CuO)_3 \cdot 2H_2O + 6KCl + H_2O$$

$$CuCl_2 + 2H_3PO_4 \xlongequal{400℃} Cu(PO_3)_2 + 2HCl + 2H_2O$$

$$3CuCl_2 + 2H_3PO_4\ (\text{浓、微过量}) \xlongequal{\text{蒸气浴上加热}} Cu_3(PO_4)_2 + 6HCl$$

$$2CuCl_2 + H_3PO_3 + H_2O \xlongequal{} Cu_2Cl_2 + H_3PO_4 + 2HCl$$

$$6CuCl_2 + 2H_3PO_2 \xlongequal{} 3Cu_2Cl_2 + H_3PO_3 + 3HCl + POCl_3$$

$$CuCl_2 + 2KCl + BaCl_2 + 6NaNO_2 \xlongequal{} CuBaK_2 \cdot 6NO_2 + 6NaCl$$

$$CuCl_2 + 2NH_4Cl + BaCl_2 + 6NaNO_2 \xlongequal{} CuBa(NH_4)_2 \cdot 6NO_2 + 6NaCl$$

$$6CuCl_2 + 2NH_4Cl \xlongequal{\triangle} 3Cu_2Cl_2 + 8HCl + N_2$$

$$CuCl_2 + 2NH_4Cl + CaCl_2 + 6NaNO_2 \xlongequal{} CuCa(NH_4)_2 \cdot 6NO_2\downarrow + 6NaCl$$

$$2CuCl_2 + 2KI \xlongequal{} 2CuCl + 2KCl + I_2\downarrow$$

$$2CuCl_2 + FeS \xlongequal{} Cu_2Cl_2 + FeCl_2 + S\downarrow$$

$$2CuCl_2 + Cu_2S \xlongequal{} 2Cu_2Cl_2 + S\downarrow$$

$$2CuCl_2 + 2Na_2S_2O_3 \xlongequal{中性或弱酸性中} Cu_2Cl_2 + Na_2S_4O_6 + 2NaCl$$

$$CuCl_2 + K_2Hg(SCN)_4 = CuHg(SCN)_4\downarrow + 2KCl$$

【Cu_2I_2】 $Cu_2I_2 + I_2 \rightleftharpoons 2CuI_2$

$$Cu_2I_2 + 3MnO_2 \xlongequal{\triangle} 2CuO + Mn_3O_4 + I_2$$

$$Cu_2I_2 + 2NH_4I = (NH_4I)_2Cu_2I_2$$

（冷却时进行的反应）

【CuI_2】 $2CuI_2 \xlongequal{\triangle} Cu_2I_2 + I_2$

【CuS】 $2CuS + O_2 \xlongequal{\triangle} Cu_2S + SO_2\uparrow$

$$CuS + Zn + 2H^+ = Cu\downarrow + Zn^{2+} + H_2S\uparrow$$

$$CuS + 2Cu_2O \xlongequal{高温} 5Cu + SO_2\uparrow$$

$$3CuS + 14HNO_{3\,(浓)} \xlongequal{煮沸} 3Cu(NO_3)_2 + 3H_2SO_4 + 8NO + 4H_2O$$

$$CuS + 2HNO_{3(浓)} = Cu(NO_3)_2 + H_2S$$

$$H_2S + 8HNO_{3(浓)} = 8NO_2\uparrow + H_2SO_4 + 4H_2O$$

总式：$CuS + 10HNO_{3(浓)} = Cu(NO_3)_2 + H_2SO_4 + 8NO_2 + 4H_2O$

$$3CuS_{(固)} + 8HNO_{3(热、稀)} = 3Cu(NO_3)_2 + 3S\downarrow + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

（这里的 HNO_3，其中只有$\frac{1}{4}$作为氧化剂，$\frac{3}{4}$作为酸，作为酸的部分也可以改用HCl）

$$3CuS_{(固)} + 2HNO_{3(浓)} + 6HCl = 3CuCl_2 + 3S\downarrow + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$2CuS + 10CN^- = 2[Cu(CN)_4^{3-}] + 2S^{2-} + (CN)_2$$

$$2CuS + 10KCN = 2K_3Cu(CN)_4 + 2K_2S + (CN)_2$$

$$CuS + 2Ag^{+} \xlongequal{} Ag_2S + Cu^{2+}$$

【Cu_2S】 $$2Cu_2S + 3O_2 \xlongequal{\triangle} 2Cu_2O + 2SO_2\uparrow$$
（炼铜炉内的反应）

$$2Cu_2S + 5O_2 \xlongequal{在空气中加热} 2CuSO_4 + 2CuO$$

$$Cu_2S + 2Cu_2O \xlongequal{\triangle} 6Cu + SO_2\uparrow$$

$$Cu_2S + 2CuO \xlongequal{加热900℃} 4Cu + SO_2\uparrow$$
（反射炉内的反应）

$$3Cu_2S + 22HNO_3 \xlongequal{} 6Cu(NO_3)_2 + 3H_2SO_4 + 10NO\uparrow + 8H_2O$$

$$nCu_2S + nFeS \xlongequal{1200℃} 冰铜$$

$$Cu_2S + 8KCN \xlongequal{} 2K_3Cu(CN)_4 + K_2S$$

$$Cu_2S + 4CN^{-} \xlongequal{} 2[Cu(CN)_2]^{-} + S^{2-}$$

$$Cu_2S + Fe_2(SO_4)_3 \xlongequal{酸性溶液} CuS + CuSO_4 + 2FeSO_4$$
（使Cu_2S溶解的反应）

$$Cu_2S + 4Ag^{+} \xlongequal{} Ag_2S + 2Ag + 2Cu^{2+}$$

【CuCN】 $$2CuCN + 2FeCl_3 \xlongequal{\triangle} 2CuCl + 2FeCl_2 + (CN)_2$$

【CuSCN】 $$CuSCN + NaOH_{(热)} \xlongequal{} CuOH + NaSCN$$

$$10CuSCN + 14KMnO_4 + 21H_2SO_4 \xlongequal{} 7K_2SO_4 + 10HCN + 14MnSO_4 + 10CuSO_4 + 16H_2O$$

【$Cu_2(SCN)_2$】 $$4Cu_2(SCN)_2 \xlongequal{灼烧} 4Cu_2S + 2CS_2\uparrow + 3(CN)_2\uparrow + N_2\uparrow$$

【$CuSO_4$】 $$2CuSO_4 \xlongequal{340℃以上} CuSO_4\cdot CuO + SO_3\uparrow$$

$$2CuSO_4 \xlongequal{650℃以上} 2CuO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$CuSO_4 \xlongequal{高温} CuO + SO_3\uparrow$$

$$CuSO_4 \cdot 5H_2O \xrightarrow{102^\circ C} CuSO_4 \cdot 3H_2O \xrightarrow{113^\circ C} CuSO_4 \cdot H_2O$$

（蓝色） （蓝白色）

$$CuSO_4 \xleftarrow{258^\circ C}$$

（白色）

$$2CuSO_4 + 2H_2O \xlongequal{电解} 2Cu\downarrow + 2H_2SO_4 + O_2\uparrow$$

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 水解时溶液呈酸性；

$$Cu^{2+} + H_2O \rightleftharpoons CuOH^+ + H^+$$

（故$CuSO_4$水解后溶液呈酸性）

$$即[Cu(H_2O)_4]^{2+} + H_2O \rightleftharpoons [Cu(H_2O)_3OH]^+ + H_3O^+$$

$$2CuSO_4 + H_2 = Cu_2SO_4 + H_2SO_4$$

$$Cu_2SO_4 + H_2 = 2Cu\downarrow + H_2SO_4$$

$$CuSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cu\downarrow$$

$$CuSO_4 + Fe = FeSO_4 + Cu\downarrow$$

$$CuSO_4 + 4NH_3 = Cu(NH_3)_4SO_4$$

（蓝色结晶）

$$CuSO_{4(无水)} + 5NH_3 = CuSO_4 \cdot 5NH_3$$

$$CuSO_4 \cdot 5H_2O + 4NH_3 = CuSO_4 \cdot 4NH_3 \cdot H_2O + 4H_2O$$

（深蓝色）

$$Cu^{2+} + 4NH_3 \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}$$

（深蓝色）

$$[Cu(NH_3)_4]^{2+} + H_2S = CuS\downarrow + 4NH_3 + 2H^+$$

$$8CuSO_4 + PH_{3(气)} + 4H_2O = 4Cu_2SO_4 + 4H_2SO_4 + H_3PO_4$$

$$3Cu_2SO_4 + 2PH_3 = 3H_2SO_4 + 2Cu_3P\downarrow$$

$$4Cu_2SO_4 + PH_3 + 4H_2O = H_3PO_4 + 4H_2SO_4 + 8Cu\downarrow$$

$$CuSO_4 + Na_2O_2 = CuO_2 + Na_2SO_4$$

$$CuSO_4 + MO + H_2O = Cu(OH)_2\downarrow + MSO_4$$

(M = Ca、Mg、Zn、Pb)

$$4CuSO_4 + 6KOH \xlongequal{冷时} CuSO_4 \cdot 3CuO\downarrow + 3K_2SO_4 + 3H_2O$$

$$4CuSO_4 + 6NaOH + xH_2O = CuSO_4 \cdot [Cu(OH)_2]_3 \cdot xH_2O + 3Na_2SO_4$$

$$CuSO_4 + 2NaOH = Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$CuSO_4 + 2NaOH \xlongequal{80-90℃} CuO\downarrow + Na_2SO_4 + H_2O$$

$$CuSO_4 + 2NH_4OH = (NH_4)_2SO_4 + Cu(OH)_2\downarrow$$

$$Cu(OH)_2 + 4NH_4OH = Cu(NH_3)_4(OH)_2 + 4H_2O$$

$$2CuSO_4 + 2NH_3 + 2H_2O \xlongequal{煮沸} \underset{(绿色)}{Cu_2(OH)_2SO_4}\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$2Cu^{2+} + SO_4^{2-} + 2NH_4OH_{(浓氨水)} = (CuOH)_2SO_4\downarrow + 2NH_4^+$$

$$(CuOH)_2SO_4 + 8NH_4OH_{(过量)} = 2[Cu(NH_3)_4]^{2+} + SO_4^{2-} + 2OH^- + 8H_2O$$

$$CuSO_{4(粉)} + 2HCl_{(干燥气)} \xlongequal{450℃} CuCl_2 + H_2SO_4$$

$$CuSO_4 + H_2S \xlongequal{微酸性} CuS\downarrow + H_2SO_4$$

$$2CuS \xlongequal{煮沸} Cu_2S\downarrow + S$$

$$3CuSO_4 + 3H_2SO_3 + 3H_2O = CuSO_3 \cdot Cu_2SO_3 \cdot 2H_2O + 4H_2SO_4$$

$$CuSO_3 \cdot Cu_2SO_3 \cdot 2H_2O + SO_2 + 2O_2 = 3CuSO_4 + 2H_2O$$

$$2CuSO_4 + 2H_3PO_3 = 2H_3PO_4 + 2Cu\downarrow + 2SO_2 + O_2$$

$$CuSO_4 + 2H_3PO_2 + 2H_2O = CuH_2 + H_2SO_4 + 2H_3PO_3$$

$$CuSO_4 + 2NH_4Cl = CuCl_2 + (NH_4)_2SO_4$$

$$CuSO_4 + 2NaCl + Cu\,(\text{屑}) \xlongequal{\triangle} Cu_2Cl_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$8CuSO_4 + 6SnCl_2 = 2Cu_4O\downarrow + 3SnCl_4 + 8SO_3 + 3SnO_2$$

$$2CuSO_4 + 2KI + SO_2 + 2H_2O = Cu_2I_2\downarrow + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$$

$$2CuSO_4 + 2KI(\text{热液}) + SO_2 + 2H_2O = \underset{(\text{白色})}{2CuI\downarrow} + 2KHSO_4 + H_2SO_4$$

$$2CuSO_4 + 4KI = Cu_2I_2\downarrow + 2K_2SO_4 + I_2\downarrow$$

$$2CuSO_4 + 4KI = 2CuI\downarrow + 2K_2SO_4 + I_2$$

$$2Cu^{2+} + 4I^- \rightleftharpoons 2CuI\downarrow + I_2$$

$$CuSO_4 + ZnS = ZnSO_4 + CuS\downarrow$$

（CuS比ZnS更难溶）

$$2CuSO_4 + 4KCN = \underset{(\text{白色})}{2CuCN\downarrow} + (CN)_2\uparrow + 2K_2SO_4$$

$$CuCN + 3KCN = K_3[Cu(CN)_4]$$

$$2CuSO_4 + 2KSCN = 2CuSCN\downarrow + K_2SO_4 + SO_2 + O_2\uparrow$$

$$2CuSCN + 2KOH \xlongequal{\text{煮沸}} Cu_2O\cdot H_2O + 2KSCN$$

$$Cu_2O + 2FeCl_3 + 2HCl = 2CuCl_2 + 2FeCl_2 + H_2O$$

$$2Cu(CNS)_2 + H_2SO_3 + H_2O = Cu_2(CNS)_2 + 2HCNS + H_2SO_4$$

$$2CuSO_4 + NaHSO_3 + 2NaCl + 3NaOH \xlongequal{} \underset{(白)}{Cu_2Cl_2}\downarrow + 3Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$4CuSO_4 + 2NaHSO_3 + 8NaCl + 3Na_2CO_3 \xlongequal{} 4NaCuCl_2 + 6Na_2SO_4 + 3CO_2\uparrow + H_2O$$

$$2CuSO_4 + NaHSO_3 + 2NH_4SCN + H_2O \xlongequal{} 2CuSCN\downarrow + NaHSO_4 + 2NH_4HSO_4$$

$$CuSO_4 + K_2SO_4 + 6H_2O \xlongequal{} K_2SO_4 \cdot CuSO_4 \cdot 6H_2O$$

$$2[CuSO_4 \cdot 5H_2O] + (NH_4)_2SO_4 \xlongequal[共熔化]{慢慢加热} (CuSO_4)_2 \cdot (NH_4)_2SO_4 + 10H_2O$$

$$CuSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O \xlongequal{} (NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$$

$$2CuSO_4 + 4FeSO_4 \xlongequal{酸化} \underset{(阴极)}{2Cu} + \underset{(阳极)}{2Fe_2(SO_4)_3}$$

（在电解槽内的反应）

$$CuSO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 2Fe \xlongequal{酸性时} 4FeSO_4 + Cu$$

$$2Cu^{2+} + SO_4^{2-} + 2OH^- \rightleftharpoons Cu_2(OH)_2SO_4\downarrow$$

$$Cu_2(OH)_2SO_{4(固)} + 2NaOH \xlongequal{研磨} 2Cu(OH)_2 + Na_2SO_4$$

$$Cu_2(OH)_2SO_4 + 8NH_3\ (过量) \rightleftharpoons 2[Cu(NH_3)_4]^{2+} + SO_4^{2-} + 2OH^-$$

$$2CuSO_4 + 2Na_2S_2O_3\ (过量) + 2H_2O \xlongequal[煮沸]{微酸性} Cu_2S\downarrow + S + 2Na_2SO_4 + 2H_2SO_4$$

$$2CuSO_4 + 2Na_2S_2O_3 \xlongequal{} Cu_2SO_4 + Na_2S_4O_6 + Na_2SO_4$$

$$2CuSO_4 + 2Na_2S_2O_3 \xlongequal{} Cu_2S_4O_6 + 2Na_2SO_4$$

$$12CuSO_4 + 16Na_2S_2O_3\text{（浓）} + 24NH_4OH \xlongequal{\text{稍放置}} 2[(Cu_2S_2O_3)_3\cdot(Na_2S_2O_3)_4\cdot(NH_4)_2S_2O_3\cdot 6NH_3]\downarrow\text{（深蓝色）} + 4(NH_4)_2SO_4 + 8Na_2SO_4 + 18H_2O + 3O_2\uparrow$$

$$CuSO_4 + Na_2S_2O_4\text{（过量）} \xlongequal{} Cu + Na_2SO_4 + 2SO_2\uparrow$$

$$Cu + 2Na_2S_2O_4 \xlongequal{} CuS\downarrow + Na_2S_2O_5 + Na_2SO_3$$

$$2CuSO_4 + Na_2S_2O_4 + 4NH_4OH \xlongequal{} Na_2SO_3 + Cu_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 + (NH_4)_2SO_3 + 2H_2O$$

$$4CuSO_4 + 8AgNO_3 + 18Na_2S_2O_3 + 16NH_4OH \xlongequal{} + 2[Cu_2S_2O_3\cdot 2Ag_2S_2O_3\cdot 5Na_2S_2O_3\cdot 6NH_3]\downarrow + 2(NH_4)_2S_2O_3 + 8NaNO_3 + 4Na_2SO_4 + 14H_2O + O_2\uparrow$$

$$CuSO_4 + Ba(NO_2)_2 \xlongequal{} Cu(NO_2)_2 + BaSO_4\downarrow$$

$$CuSO_4 + K_2CO_3 \xlongequal{\text{煮沸}} K_2SO_4 + CuO\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$2CuSO_4 + 2Na_2CO_3 + H_2O \xlongequal{} Cu_2(OH)_2CO_3\downarrow + 2Na_2SO_4 + CO_2\uparrow$$

$$7CuSO_4 + 12Na_2CO_3 + 10H_2O \xlongequal{} 2CuCO_3\cdot 5Cu(OH)_2\downarrow + 7Na_2SO_4 + 10NaHCO_3$$

$$5CuSO_4 + 8Na_2CO_3 + 3H_2O \xlongequal{} 5CuO\cdot 2CO_2\downarrow + 5Na_2SO_4 + 6NaHCO_3$$

$$5CuO\cdot 2CO_2 + 2Na_2CO_3\text{（饱和）} + 7H_2O \xlongequal{\text{数日}} 5Cu(OH)_2\downarrow + 4NaHCO_3$$

$$13[CuSO_4\cdot 5H_2O] + 3[Na_2CO_3\cdot 10H_2O] + 14NaOH \xlongequal{} 3CuCO_3\cdot 3[Cu(OH)_2\cdot H_2O]\downarrow$$

$$+Cu_5(SO_4)_2(OH)_6\cdot 2H_2O\downarrow + 10Na_2SO_4 + CuSO_4\cdot Cu(OH)_2 + 90H_2O$$

$$CuSO_4 + 2NaHCO_3\text{（浓）} + 2H_2O = CuSO_4\cdot Na_2CO_3\cdot 3H_2O + 3CO_2$$
（蓝色）

$$3CuSO_4 + 3CaCO_3 + H_2O \xlongequal[170^\circ C\text{以下}]{\text{密封管内}} 3CaSO_4 + 2CuCO_3\cdot Cu(OH)_2\downarrow + CO_2\uparrow$$
（石青）

$$CuCO_3\cdot Cu(OH)_2 + 2H_2SO_4 = 2CuSO_4 + CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$CuSO_4 + K_2Cr_2O_7 + 4C_5H_5N = Cu(C_5H_5N)_4\cdot Cr_2O_7\downarrow + K_2SO_4$$
（绿色）

$$2CuSO_4 + K_4Fe(CN)_6 \xlongequal{\text{微酸性}} Cu_2Fe(CN)_6\downarrow + 2K_2SO_4$$
（红色）

$$Cu_2Fe(CN)_6 + 4OH^- = 2Cu(OH)_2\downarrow + [Fe(CN)_6]^{4-}$$

$$CuSO_4 + 2NH_2OH \xlongequal{\text{加甲醇}} CuSO_4\cdot 2NH_2OH\downarrow$$
（深绿色）

$$4(CuSO_4\cdot 5H_2O) + (NH_2OH)_2\cdot 2HCl + 10KOH = 2Cu_2O + N_2O + 2KCl + 4K_2SO_4 + 29H_2O$$

$$3CuSO_4\text{（无水）} + 2CHCl_3 \xlongequal[300^\circ C]{\text{干}CO_2\text{气氛}} 3CuCl_2 + 3SO_3 + 2CO + H_2O$$

斐林溶液与甲醛的反应：

$$CuSO_4 + 2NaOH = Cu(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$2Cu(OH)_2 + HCHO \xlongequal{\triangle} \underset{(红色)}{Cu_2O}\downarrow + HCOOH + 2H_2O$$

或 $$2Cu(OH)_2 + 2HCHO + 2NaOH = 2HCOONa + \underset{(红色)}{Cu_2O}\downarrow + 3H_2O$$

斐林溶液与葡萄糖反应：

$$2CuSO_4 + 4NaOH + C_6H_{12}O_6 = \underset{(葡萄糖酸)}{C_5H_{11}O_5COOH} + \underset{(红色)}{Cu_2O}\downarrow + 2Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$CuSO_4 + \underset{(巯基苯并噻唑)}{2C_7H_5NS_2} \xlongequal{醇溶液} Cu(C_7H_4NS_2)_2\downarrow + H_2SO_4$$

$$3CuSO_4 + 6C_6H_5COONH_4 + C_6H_{12}N_4 = 3(NH_4)_2SO_4 + \underset{(蓝色)}{Cu_3(C_6H_5COO)_6C_6H_{12}N_4}\downarrow$$

$$CuSO_4 + \underset{(磷氨基苯甲酸钠)}{2C_7H_6O_2NNa} = \underset{(绿色)}{Cu(C_7H_6O_2N)_2}\downarrow + Na_2SO_4$$

$$CuSO_4 + \underset{(吡啶)}{2C_5H_5N} + \underset{(苯甲酸铵)}{2C_6H_5COONH_4} = \underset{(蓝色)}{[(C_5H_5N)_2(C_6H_5COO)_2]Cu}\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$CuSO_4 + \underset{(萘茜染料)}{C_{10}H_6O_4} + H_2O \xlongequal{醇液} \underset{(黑紫色粉末)}{C_{10}H_4O_4Cu \cdot H_2O}\downarrow + H_2SO_4$$

$$CuSO_4 + \underset{(奎那啶酸)}{2C_{10}H_7NO_2} + H_2O = \underset{(红色结晶)}{(C_{10}H_6NO_2)_2Cu \cdot H_2O}\downarrow + H_2SO_4$$

$$3CuSO_4 + 2C_4O_5H_6 + 6NaOH = Cu_3(C_4O_5H_3)_2 + 3Na_2SO_4 + 6H_2O$$
（苹果酸）

$$CuSO_4 + KNaC_4O_6H_4 + NaOH = KCuC_4O_6H_3 + Na_2SO_4 + H_2O$$
（酒石酸钾钠）

【Cu_2SO_4】 $Cu_2SO_4 = CuSO_4 + Cu\downarrow$
（在水中的分解反应）

$$2Cu_2SO_4\text{（干燥）} + O_2\text{（干燥气）} \xlongequal{200℃} 2CuO + 2CuSO_4$$

$$Cu_2SO_4 + NaOH = Cu_2O\downarrow + NaHSO_4$$

【$Cu(NO_3)_2$】 $2Cu(NO_3)_2 \xlongequal{\triangle} 2CuO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$$2Cu(NO_3)_2 \xlongequal{200℃} 2CuO + 4NO + 3O_2\uparrow$$

$$Cu(NO_3)_2 + 4NH_3 = [Cu(NH_3)_4](NO_3)_2$$

$$Cu^{2+} + 4NH_3\cdot H_2O = Cu(NH_3)_4^{2+} + 4H_2O$$

$$Cu(NO_3)_2 + ZnS = CuS\downarrow + Zn(NO_3)_2$$

$$Cu(NO_3)_2 + Pb(NO_3)_2 + 2NH_4NO_3 + 6NaNO_2 = 6NaNO_3 + CuPb(NH_4)_2\cdot 6NO_2\downarrow$$
（黑色）

$$3Cu(NO_3)_2\text{（冷、饱和）} + 3Na_2CO_3\text{（冷）} + H_2O = 2CuCO_3\cdot Cu(OH)_2\downarrow + 6NaNO_3 + CO_2\uparrow$$

$$Cu(NO_3)_2 + K_2CrO_4 = CuCrO_4\downarrow + 2KNO_3$$

【$Cu(PO_3)_2$】 $Cu(PO_3)_2 + H_2S = 2HPO_3 + CuS\downarrow$

$$Cu(PO_3)_2 + (NH_4)_2S = 2NH_4PO_3 + CuS\downarrow$$

【$CuSiO_3$】 $CuSiO_3\cdot 2H_2O + H_2SO_4 = CuSO_4 + SiO_2 + 3H_2O$

【$CuCO_3$】 $CuCO_3 \xlongequal{\triangle} CuO + CO_2\uparrow$

$$CuCO_3 + 2HCl = CuCl_2 + H_2O + CO_2\uparrow$$

（HF、HBr均可发生类似的反应）

$$CuCO_3 + Na_2CO_3 + 3H_2O = CuCO_3 \cdot Na_2CO_3 \cdot 3H_2O$$

（蓝色）

【$Cu(CH_3COO)_2$】 $$2Cu(CH_3COO)_2 + 4KI = Cu_2I_2\downarrow + 4KC_2H_3O_2 + I_2$$

$$4Cu(CH_3COO)_2 + K_2SO_4 + 7H_2O = 2KC_2H_3O_2 + CuSO_4 \cdot 3CuO \cdot 4H_2O\downarrow + 6HC_2H_3O_2$$

（淡蓝色）

$$4Cu(CH_3COO)_2 + Na_2SO_4 + 7H_2O = 2NaC_2H_3O_2 + CuSO_4 \cdot 3CuO \cdot 4H_2O\downarrow + 6HC_2H_3O_2$$

$$4Cu(CH_3COO)_2 + (NH_4)_2SO_4 + 7H_2O = 6HC_2H_3O_2 + 2NH_4C_2H_3O_2 + CuSO_4 \cdot 3CuO \cdot 4H_2O\downarrow$$

$$3Cu(CH_3COO)_2 + CuSO_4 + 7H_2O = CuSO_4 \cdot 3CuO \cdot 4H_2O\downarrow + 6HC_2H_3O_2$$

【$Cu_2(OH)_2CO_3$】 $$Cu_2(OH)_2CO_3\text{（固体）} \xrightarrow{\triangle} 2CuO + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cu_2(OH)_2CO_3 \xrightleftharpoons{\text{溶液中}} 2Cu^{2+} + 2OH^- + CO_3^{2-}$$

【Cu^+】 $$Cu^+ + 2NH_3 \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_2]^+$$

（红色）

$$2Cu^+ + 2OH^- \xrightleftharpoons{\text{冷}} Cu_2(OH)_2\downarrow \xrightleftharpoons{\text{煮沸}} Cu_2O\downarrow + H_2O$$

（红色）

$$2Cu^+ + S^{2-} = Cu_2S\downarrow$$

$$Cu^+ + 4CN^- = Cu(CN)_4^{3-}$$

$$Cu^+ + S_2O_3^{2-} = Cu(S_2O_3)^-$$

【Cu^{2+}】 $2Cu^{2+} + 2Cl^- + SO_2 + 2H_2O = Cu_2Cl_2\downarrow + SO_4^{2-} + 4H^+$

$2Cu^{2+} + 4I^- \rightleftharpoons Cu_2I_2\downarrow + I_2$

（白色）

$CuI + CNS^- = CuCNS\downarrow + I^-$

$2Cu^{2+} + 4I^- + SO_3^{2-} + H_2O = Cu_2I_2\downarrow + SO_4^{2-} + 2H^+ + 2I^-$

（白色）

$2Cu^{2+} + 4CN^- = Cu_2(CN)_2\downarrow + (CN)_2\uparrow$

（白色）

$2Cu^{2+} + [Fe(CN)_6]^{4-} = Cu_2[Fe(CN)_6]\downarrow$

（砖红色）

$2Cu^{2+} + K_4Fe(CN)_6 \xlongequal{加HCl} Cu_2[Fe(CN)_6]\downarrow + 4K^+$

$Cu_2[Fe(CN)_6] + 4OH^- \rightleftharpoons 2Cu(OH)_2 + [Fe(CN)_6]^{4-}$

$Cu^{2+} + 2CNS^- = Cu(CNS)_2\downarrow$

$2Cu^{2+} + 2CNS^- + H_2SO_3 + H_2O = Cu_2(CNS)_2\downarrow + SO_4^{2-} + 4H^+$

$Cu^{2+} + S^{2-} \xrightleftharpoons{中性或微酸性中} CuS$

$2Cu^{2+} + 2S_2O_3^{2-} + 2H_2O \xlongequal{酸性溶液中} Cu_2S\downarrow + 4H^+ + 2SO_4^{2-} + S\downarrow$

$2Cu^{2+} + 2S_2O_3^{2-} = 2Cu^+ + S_4O_6^{2-}$

$Cu^+ + S_2O_3^{2-} = Cu(S_2O_3)^-$

（在过量的$S_2O_3^{2-}$存在下）

$3Cu^{2+} + 2HPO_4^{2-} = Cu_3(PO_4)_2 + 2H^+$

（淡蓝色）

$Cu^{2+} + 4NH_3 \cdot H_2O = [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4H_2O$

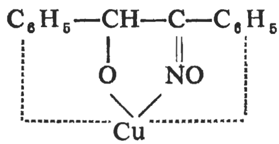
$$Cu^{2+} + EDTA(H_2Y^{2-}) = CuY^{2-} + 2H^+$$

（白色）

（EDTA系指乙二胺四乙酸盐）

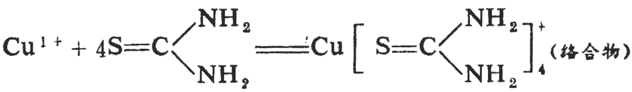
$$Cu^{2+} + C_6H_5CHOHCNOHC_6H_5 =$$

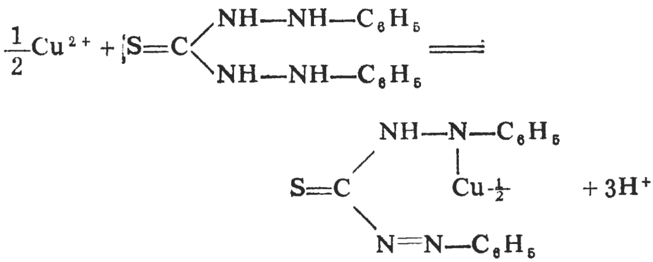
（试铜灵）



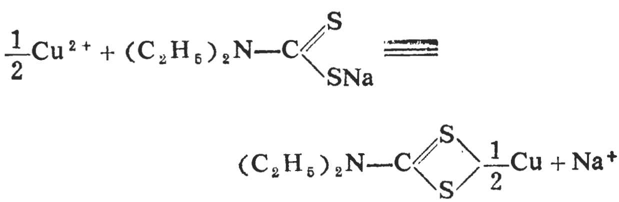
$+ 2H^+$

注：Cu^{2+}与硫脲作用先将Cu^{2+}变成Cu^+然后Cu^+再与硫脲发生反应，得稳定的络合物：





（淡黄色）

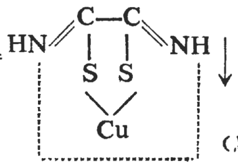


（棕色络合物）

〔（乙氨基二硫代甲酸（铜试剂又叫D、D、T、C）〕

$$Cu^{2+} + 2[C_6H_5(CO)NO]^- \xlongequal{} Cu[C_6H_5(CO)NO]_2\downarrow$$

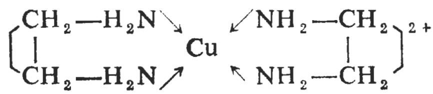
（试铜特灵）　　（易溶于氨水而生成蓝色溶液）

$$Cu^{2+} + (CSNH_2)_2 \xlongequal{\text{弱酸中}}$$  $+ 2H^+$

（二硫代乙二胺）　　（黑色）

$$Cu^{2+} + 2(NH_2-CH_2-CH_2-NH_2) \rightleftharpoons$$

（乙二胺）



（络合物）

【Cu_3FeS_3】 $Cu_3FeS_3 + 9Ag^+ \xlongequal{} 3Ag_2S + 3Ag + 3Cu^{2+} + Fe^{3+}$

【$CuFeS_2$】 $2CuFeS_2 + O_2 \xlongequal{\triangle} Cu_2S + 2FeS + SO_2\uparrow$

（黄铜矿）

【$Cu(NH_3)_4^{2+}$】 $[Cu(NH_3)_4]^{2+} + Cu \xlongequal{} 2[Cu(NH_3)_2]^+$

$$[Cu(NH_3)_4]SO_4 + 2H_2SO_4 \xlongequal{} 2(NH_4)_2SO_4 + CuSO_4$$

$$[Cu(NH_3)_4]^{2+} + S^{2-} \xlongequal{} CuS\downarrow + 4NH_3$$

$$[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4H^+ + 4H_2O \xlongequal{} Cu(H_2O)_4^{2+} + 4NH_4^+$$

$$2[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4CN^- \xlongequal{} 2Cu(CN)_2 + 8NH_3$$

$$2Cu(CN)_2 \xlongequal{} (CN)_2 + 2CuCN\downarrow$$

（白色）

【$Cu(NH_3)_2^+$】 $2[Cu(NH_3)_2]^+ + 4NH_3\cdot H_2O + O_2 \xlongequal{} 2[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4OH^- + 2H_2O$

$$Cu(NH_3)_2Cl + CO \xlongequal{} Cu(NH_3)_2Cl\cdot CO$$

（氯化亚铜氨）　　（一氧化碳氯化亚铜氨络合物）

【$CuCl_4$】$^{2-}$　$[CuCl_4]^{2-} + Cu = 2[CuCl_2]^-$

（因为$\varepsilon^0>0$，反应可以进行。ε^0表示氧化还原反应中原电池的电动势。如果$\varepsilon^0>0$，电极反应可以按指定方向自发地进行，如果$\varepsilon^0<0$，电极反应就不能按指定方向自发地进行，而是按相反方向进行。）

6.2 银 $4d^{10}5s^1$ Ag＝107.868

【Ag】　$Ag_{(粉)} + F_2 \xlongequal{200℃} AgF_2$
（暗棕色）

$2Ag + Cl_2 = 2AgCl$
（待Ag加热至红热通入Cl_2）

$4Ag + O_2 \xlongequal{加热、加压} 2Ag_2O$
（常温常压下无反应）

$2Ag + 2O_3 = Ag_2O_2 + 2O_2\uparrow$

$2Ag_{(很细)} + H_2O_2 \xlongequal{在酸性溶液中} Ag_2O + H_2O$

$Ag_2O + H_2O_2 = 2Ag + O_2 + H_2O$

$2Ag + 2H_2O_2 + 2H_2SO_4 \xlongequal{270℃} Ag_2SO_4 + SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 4H_2O$

$4Ag + 4HCl + O_2 = 4AgCl\downarrow + 2H_2O$
（HBr、HI也有类似的反应）

$2Ag + 2HI_{(酸液)} = 2AgI\downarrow + H_2\uparrow$
（因为$\varepsilon^0>0$，故反应能进行）

$4Ag + 2H_2S + O_2{}_{(空气)} = 2Ag_2S + 2H_2O$
（缓慢进行，无O_2不能反应）

$6Ag + 6HClO_3 \xlongequal{沸} AgCl + 5AgClO_3 + 3H_2O$

$6Ag + 6HIO_3{}^{(沸)} \xlongequal{稀H_2SO_4参加} AgI + 5AgIO_3 + 3H_2O$

$$2Ag_{(粉)} + 2H_2SO_{4(热、浓)} = Ag_2SO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3Ag + 4HNO_{3(稀)} = 3AgNO_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$

$$Ag + 2HNO_{3(浓)} = AgNO_3 + NO_2\uparrow + H_2O$$

雷银制法：

$$3Ag + 8HNO_3 = 3Ag(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

$$Ag(NO_3)_2 + 2C_2H_5OH + 4HNO_3 = \underset{(雷银)}{Ag(ONC)_2} + 2CO_2\uparrow + 2NO_2\uparrow + 2NO\uparrow + 8H_2O$$

$$Ag_{(片)} + FeCl_{3(溶液)} = AgCl\downarrow + FeCl_2$$

（有AgCl薄片沉积在Ag片上）

$$Ag_{(细粉)} + HgCl_{2(过量)} \xlongequal{冷却} \underset{(复盐)}{HgAgCl_2}$$

$$3HgAgCl_2 = Hg + Ag + 2AgCl + 2HgCl_2$$

$$HgCl_{2(过量、浓)} + 2Ag = 2AgCl + Hg$$

$$4Ag_{(片)} + 2Na_2S + 2H_2O + O_2 = 2Ag_2S\downarrow + 4NaOH$$

（使Ag片产生黑斑纹）

$$3Ag + 6KCN + 4HNO_3 = 3KAg(CN)_2 + 3KNO_3 + NO + 2H_2O$$

$$2Ag + 4KCN + 2H_2O = 2KAg(CN)_2 + 2KOH + H_2$$

（Ag电极电解池反应）

$$4Ag + 8NaCN + 2H_2O + O_2 = 4Na[Ag(CN)_2] + 4NaOH$$

$$2Ag + Hg(CN)_2 = Hg + 2AgCN$$

$$2Ag + Hg(CN)_2 + 2KCN \xlongequal{\triangle} 2KAg(CN)_2 + Hg\downarrow$$

$$2Ag + K_2S_2O_8 + H_2O = Ag_2O + K_2SO_4 + H_2SO_4$$

$$Ag_2O + H_2SO_4 = Ag_2SO_4 + H_2O$$

$$2Ag + 2Na_2S_2O_8(20\%) + 2H_2O = Ag_2O_2\downarrow + 2Na_2SO_4 + 2H_2SO_4$$

$$Ag + Fe(NO_3)_3 = AgNO_3 + Fe(NO_2)_2$$

$$2Ag + Hg(NO_3)_2 = 2AgNO_3 + Hg\downarrow$$

$$5Ag + MnO_4^- + 8H^+ \xrightarrow{Fe^{3+}催化} 5Ag^+ + Mn^{2+} + 4H_2O$$

【Ag_2O_2】 $Ag_2O_2 = Ag_2O + [O]$

$$Ag_2O_2 + 2Cu \rightleftharpoons Ag_2O + Cu_2O$$

$$Ag_2O + 2Cu = 2Ag + Cu_2O$$

(银蓄电池内的反应)

$$2Ag_2O_2 + 2H_2SO_4(浓) = 2Ag_2SO_4 + O_2 + 2H_2O$$

$$2Ag_2O_2 + 4HNO_3(浓) = 4AgNO_3 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$5Ag_2O_2 + 2Mn(NO_3)_2 + 6HNO_3 = 2HMnO_4 + 10AgNO_3 + 2H_2O$$

【Ag_2O】 $2Ag_2O \xrightarrow{300℃} 4Ag + O_2\uparrow$

$$2Ag_2O + 2Cl_2 = 4AgCl + O_2\uparrow$$

$$Ag_2O + H_2O_2 \xrightarrow{常温} 2Ag + H_2O + O_2\uparrow$$

$$Ag_2O + CO \xrightarrow{300℃} 2Ag + CO_2\uparrow$$

(棕色)

$$Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \xrightarrow{NH_4Cl} 2[Ag(NH_3)_2]OH$$

$$Ag(NH_3)_2OH + (NH_4)_2S_2O_3 + 2H_2O = 3NH_4OH + NH_4AgS_2O_3\downarrow$$

$$Ag_2O + 2HF = 2AgF\downarrow + H_2O$$

(白色)

$$Ag_2O + 2HCl = 2AgCl\downarrow + H_2O$$

(白色)

$$2Ag_2O + N_2H_4 = 4Ag\downarrow + N_2 + 2H_2O$$

(肼)

$$Ag_2O + HCOOH \xlongequal{\text{氨溶液}} 2Ag\downarrow + CO_2 + H_2O$$

$$Ag_2O + CH_3CHO \xlongequal{\text{氨溶液}} 2Ag\downarrow + CH_3COOH$$

$$\underset{\text{(葡萄糖)}}{Ag_2O + C_5H_6(OH)_5CHO} \xlongequal{\text{氨溶液}} 2Ag + \underset{\text{(葡萄糖酸)}}{C_5H_6(OH)_5COOH}$$

$$Ag_2O + 2(C_4H_9)_4NI + CH_3OH \rightleftharpoons (C_4H_9)_4NOH + 2AgI\downarrow + (C_4H_9)_4NOCH_3$$

【AgF】

$$16AgF_{(\text{热})} + 8Cl_2 + 8H_2O = 14AgCl + 2AgClO_3 + 16HF + O_2$$

$$16AgF + 8Br_2 + 8H_2O_{(\text{热})} = 14AgBr + 2AgBrO_3 + 16HF + O_2$$

$$4AgF + 2Cl_2 + Pt \xlongequal{16^\circ C} (AgCl)_4 \cdot PtF_4$$

$$4AgF_{(\text{红热})} + 2Cl_2 + Pt = 4AgCl + PtF_4$$

(Br_2也有类似的反应)

$$4AgF + 2CaO = 2CaF_2 + 4Ag + O_2$$

$$AgF_{(\text{熔化的})} + HCl_{(\text{干燥的})} = AgCl + HF\uparrow$$

$$4AgF + CCl_4 \xlongequal{300^\circ C} CF_4 + 4AgCl$$

【Ag_2F】

$$Ag_2F + NaCl = NaF + AgCl + Ag$$

【AgCl】

$$2AgCl_{(\text{熔化})} + Ca = CaCl_2 + 2Ag\downarrow$$

(Cu、Sn、Fe、Al均有类似的反应)

$$2AgCl_{(\text{溶液})} + Fe = FeCl_2 + 2Ag\downarrow$$

(Zn亦有类似的反应)

$$2AgCl + Cu = CuCl_2 + 2Ag\downarrow$$

$$AgCl + Cu \xlongequal{1000^\circ C\ \text{熔化}} CuCl + Ag\downarrow$$

$$AgCl_{(\text{固})} + 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]Cl$$

(AgBr有类似反应，AgI无此反应)

$$[Ag(NH_3)_2]Cl + 2HNO_3 = AgCl\downarrow + 2NH_4NO_3$$

$$2AgCl + H_2O \xrightarrow{日光} 2HCl + 2Ag + [O]$$

$$2AgCl + H_2O_2 + 2KOH = 2Ag\downarrow + 2KCl + 2H_2O + O_2$$

$$Ag^+ + 2NH_4OH\ (浓) = [Ag(NH_3)_2]^+ + 2H_2O$$

$$2AgCl + 2KOH = Ag_2O + 2KCl + H_2O$$

$$AgCl + 2HCl\ (浓) = AgCl_3^{2-} + 2H^+$$

$$AgCl\ (固) + HCl\ (过量) \rightleftharpoons [AgCl_2]^- + H^+$$

$$2AgCl + H_2S\ (液体) = Ag_2S + 2HCl\uparrow$$

$$AgCl + 2HCN = H[Ag(CN)_2] + HCl$$

$$2AgCl + (NH_4)_2S = Ag_2S + 2NH_4Cl$$

$$AgCl + 2KCN \rightleftharpoons K[Ag(CN)_2] + KCl$$

$$2AgCl + 3Na_2S_2O_3 \rightleftharpoons Na_4[Ag_2(S_2O_3)_3] + 2NaCl$$

（AgBr、AgI有类似的反应）

$$AgCl\ (固) + 2Na_2S_2O_3 = [Ag(S_2O_3)_2]^{3-} + 4Na^+ + Cl^-$$

（使AgCl沉淀溶解）

$$2AgCl\ (少量) + 2Na_2S_2O_3 + 3H_2O = (NaAgS_2O_3)_2\cdot 3H_2O + 2NaCl$$

$$AgCl + 2K_2SO_3 = K_3Ag(SO_3)_2 + KCl$$

$$2AgCl + Na_2SO_4 \xrightarrow{\triangle} 2NaCl + 2Ag + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$2AgCl + AgNO_3\ (热浓) = (AgCl)_2\cdot AgNO_3$$

$$3AgCl + Na_3AsO_3 \xrightarrow{振摇} Ag_3AsO_3\downarrow + 3NaCl$$

（Ag_3AsO_3比AgCl更难溶解）

$$2AgCl + K_2CO_3 \xrightarrow{共熔} Ag_2CO_3 + 2KCl$$

$$2AgCl + Mn^{2+} + 4OH^- = MnO(OH)_2\downarrow + 2Ag\downarrow + 2Cl^- + H_2O$$

$$4AgCl + K_4Fe(CN)_6 = Ag_4Fe(CN)_6 + 4KCl$$

$$2AgCl + HCHO \xlongequal{碱性溶液} 2HCl + 2Ag\downarrow + CO$$

【AgBr】 $$2AgBr \xlongequal{光或700℃} 2Ag\downarrow + Br_2\uparrow$$

$$2AgBr + Zn \xlongequal{稀H_2SO_4} Zn^{2+} + 2Br^- + 2Ag\downarrow$$

$$AgBr + Cu \xlongequal{1000℃熔化} CuBr + Ag$$

$$2AgBr + H_2O \xlongequal[HNO_3]{日光、H_2O} 2HBr + 2Ag + [O]$$

$$2AgBr + 2H_2O_2 = 2HBr + 2Ag\downarrow + 2O_2 + H_2$$

$$AgBr(固) + 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+ + Br^-$$

$$AgBr(固) + 2NH_4OH \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+ + Br^- + 2H_2O$$

$$[Ag(NH_3)_2]Br + 2HNO_3 = AgBr\downarrow + 2NH_4NO_3$$

$$3AgBr + 4HI(冷、浓) = HAg_3I_4 + 3HBr$$

$$2AgBr + 6KCN = 2KAg(CN)_2 + 2KCN + 2KBr$$

$$AgBr + 2KSCN = KAg(SCN)_2 + KBr$$

$$AgBr + NH_4IO_3 \xlongequal{100℃} AgI + NH_4BrO_3$$

$$AgBr + 2K_2SO_3 = K_3Ag(SO_3)_2 + KBr$$

（使AgBr溶解）

$$2AgBr + Na_2SO_3 + H_2O \xlongequal{无O_2时} 2NaBr + H_2SO_4 + 2Ag\downarrow$$

（自动催化）

$$AgBr(固) + 2Na_2S_2O_3 = [Ag(S_2O_3)_2]^{3-} + 4Na^+ + Br^-$$

（照相术定影原理）

$$4AgBr + 2NH_2OH = 4Ag + N_2O + 4HBr + H_2O$$

$$2AgBr + 2NH_2OH = 2Ag + 2HBr + N_2 + 2H_2O$$

【AgI】 $2AgI \xlongequal{见光或558℃} 2Ag\downarrow + I_2\uparrow$

$AgI + Cl_2 = AgCl + ICl$

$ICl + H_2O = HIO + HCl$

$2AgI + Zn = Zn^{2+} + 2I^- + 2Ag\downarrow$

$2AgI + Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + 2HI + 2Ag\downarrow$

$3AgI + 3Hg \xlongequal{70℃} 3HgI + 3Ag$

AgI（固） $+ 2NH_3 \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]^+ + I^-$

$AgI + 2KCN = KAg(CN)_2 + KI$

（使AgI溶解）

$AgI + 2CN^- = [Ag(CN)_2]^- + I^-$

$AgI + 2KSCN$（过量） $= KAg(SCN)_2 + KI$

$2AgI + 3Na_2S_2O_3 = (NaAgS_2O_3)_2 \cdot Na_2S_2O_3 + 2NaI$

【AgCN】 $2AgCN \xlongequal{\triangle} 2Ag\downarrow + (CN)_2\uparrow$

$2AgCN + Ca$（过量） $\xlongequal{氨液中} Ca(CN)_2 + 2Ag\downarrow$

$2AgCN + Zn + 2H^+ = 2HCN\uparrow + 2Ag\downarrow + Zn^{2+}$

$AgCN + 2NH_4OH = [Ag(NH_3)_2]CN + 2H_2O$

$AgCN + HCN = HAg[(CN)_2]$

$2AgCN + H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Ag_2SO_4\downarrow + 2HCN\uparrow$

$AgCN + KCN = K[Ag(CN)_2]$

$K[Ag(CN)_2] + HNO_3 = KNO_3 + HCN + AgCN\downarrow$

$AgCN + NH_4SCN = AgSCN\downarrow + NH_4CN$

（白色）

【AgSCN】 $2AgSCN + Br_2 = 2AgBr + (SCN)_2$

（反应在乙醚中进行）

$$2AgCNS + Ca_{(过量)} = 2Ag + Ca(CNS)_2$$

（在液态氨中进行反应）

$$AgSCN + Zn + 3H^+ = HCN\uparrow + H_2S\uparrow + Zn^{2+} + Ag\downarrow$$

$$2AgCNS + 2H_2SO_{4(浓)} + 3H_2O \xlongequal{煮沸} 2NH_4HSO_4 + COS\uparrow + \underset{(黑色)}{Ag_2S}\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$6AgCNS + 16HNO_{3(浓)} + 4H_2O \xlongequal{\triangle} 3Ag_2SO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 6CO_2\uparrow + 16NO\uparrow$$

$$AgSCN + Br^- = AgBr\downarrow + CNS^-$$

$$AgSCN + KSCN = K[Ag(SCN)_2]$$

（或$K_2[Ag(SCN)_3]$、$K_3[Ag(SCN)_4]$）

【AgOCN】 $2AgOCN + 2Br_2 = 2AgBr + 2CNBr + O_2\uparrow$

$$2AgOCN + I_2 = 2AgI + (CNO)_2$$

（用I_2的CCl_4溶液和AgOCN反应）

$$AgOCN + NH_4Cl = AgCl\downarrow + NH_4OCN$$

$$AgOCN + IOCN = AgI + (OCN)_2$$

【Ag_2S】 $Ag_2S + Zn + 2H^+ = H_2S\uparrow + 2Ag\downarrow + Zn^{2+}$

$$2Ag_2S + 8CN^- + 2H_2O + O_2 = 4[Ag(CN)_2]^- + 2S + 4OH^-$$

$$3Ag_2S_{(固)} + 2NO_3^- + 8H^+ = 6Ag^+ + 3S_{(固)} + 2NO + 4H_2O$$

【AgN_3】 $AgN_3 + I_2 = AgI + IN_3$

【Ag_2C_2】 $Ag_2C_2 + I_2 \xlongequal{在醚溶液中} C_2I_2 + 2Ag\uparrow$

$$Ag_2C_2 + 2HCl = 2AgCl\downarrow + C_2H_2\uparrow$$

【AgOCNBr】 $18AgOCNBr + 6H_2O = 18AgBr + 4(HNCO)_3 + 6CO_2\uparrow 3N_2\uparrow$

$$6AgOCNBr + 8HCl_{(干)} = 2AgCl + 4AgBr$$

（溴氰酸银）

$$+6CNCl+O_2\uparrow+Br_2\uparrow+4H_2O$$

【$AgSCSN_3$】 $AgSCSN_3+Br_2\xlongequal{醚中}BrSCSN_3+AgBr$

$$AgSCSN_3+2Br_2=\!=\!=Br_3SCSN_3+AgBr$$

$$2AgSCSN_3+I_2\xlongequal{在氯仿中进行}(SCSN_3)_2+2AgI$$

【$Ag_4Fe(CN)_6$】 $Ag_4Fe(CN)_6+4HCl=\!=\!=4AgCl\downarrow+H_4Fe(CN)_6$

$$Ag_4Fe(CN)_6+4NaCl=\!=\!=4AgCl\downarrow+Na_4Fe(CN)_6$$

$$\underset{(亚铁氰化银)}{3Ag_4Fe(CN)_6}+4FeCl_3=\!=\!=12AgCl\downarrow+\underset{(普鲁士蓝)}{Fe_4[Fe(CN)_6]_3}$$

$$Ag_4Fe(CN)_6+4NH_4SCN=\!=\!=4AgSCN+(NH_4)_4[Fe(CN)_6]$$

【$Ag_3Fe(CN)_6$】 $2Ag_3Fe(CN)_6+2AgNO_3+H_2O_2=\!=\!=2Ag_4Fe(CN)_6+O_2+2HNO_3$

【$[Ag(NH_3)_2]Cl$】 $2[Ag(NH_3)_2]Cl+Hg=\!=\!=HgNH_2Cl+NH_4Cl+2NH_3+2Ag$

$$[Ag(NH_3)_2]Cl+2HNO_3=\!=\!=AgCl\downarrow+2NH_4NO_3$$

$$[Ag(NH_3)_2]Cl+KI+2H_2O=\!=\!=2NH_4OH+AgI+KCl$$

$$[Ag(NH_3)_2]Cl+2KCN_{(过量)}=\!=\!=K[Ag(CN)_2]+KCl+2NH_3$$

【$[Ag(NH_3)_2]CN$】 $[Ag(NH_3)_2]CN+2HNO_3=\!=\!=AgCN\downarrow+2NH_4NO_3$

【$[Ag(NH_3)_2]^+$】 $2[Ag(NH_3)_2]^++Zn=\!=\!=2Ag\downarrow+[Zn(NH_3)_4]^{2+}$

$$2[Ag(NH_3)_2]^++Sn^{2+}=\!=\!=Sn^{4+}+2Ag+4NH_3$$

$$2[Ag(NH_3)_2]^+ + CH_3CHO + 2OH^- = CH_3COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$$

【$AgClO_4$】 $2AgClO_4 + I_2 = 2AgI\downarrow + 2ClO_4$

（在乙醚溶液中进行）

【$AgBrO_3$】 $AgBrO_3 + 2NH_3 = Ag(NH_3)_2BrO_3$

【$Ag_5(IO_6)$】 $Ag_5(IO_6) + 5HCl = 5AgCl\downarrow + H_5IO_6$

【Ag_2SO_3】 $Ag_2SO_3 + 2HNO_3 = 2AgNO_3 + SO_2\uparrow + H_2O$

$$Ag_2SO_3 + SO_3^{2-} \rightleftharpoons 2[Ag(SO_3)]^-$$

$$\uparrow\downarrow$$

$$2Ag + 2SO_3^{2-}$$

【Ag_2SO_4】 $Ag_2SO_4 \xlongequal{1085℃} 2Ag + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$$Ag_2SO_4 + H_2 \xlongequal{125℃内} H_2SO_4 + 2Ag$$

$$Ag_2SO_4 + 4H_2 \xlongequal{125℃以上} Ag_2S + 4H_2O$$

$$Ag_2SO_4 + 5H_2 \xlongequal{更高温} 2Ag + H_2S\uparrow + 4H_2O$$

$$Ag_2SO_4 + C \xlongequal{红热} CO_2\uparrow + SO_2\uparrow + 2Ag\downarrow$$

$$Ag_2SO_4 + 2HCl\text{（气）} = Ag_2SO_4\cdot 2HCl\downarrow$$

$$Ag_2SO_4 + 2HCN = 2AgCN\downarrow + H_2SO_4$$

$$Ag_2SO_4 + 3H_2SO_4\text{（热、浓）} = 2AgH_3(SO_4)_2$$

$$2Ag_2SO_4 + Cu_2S = Ag_2S + 2Ag + 2CuSO_4$$

【Ag_2SeO_3】 $Ag_2SeO_3 + Br_2 + H_2O = H_2SeO_4 + 2AgBr$

【Ag_2TeO_4】 $3[Ag_2TeO_4\cdot 2H_2O] \xlongequal{在沸水中} [Ag_3O]_2\cdot[TeO_3]_2 + H_2TeO_4 + 5H_2O$

【$AgNO_2$】 $2AgNO_2 + H_2O \xlongequal{光} 2Ag\downarrow + HNO_3 + HNO_2$

（在日光、过量$NaNO_3$溶液中进行）

$$3AgNO_2\text{（固）}+2HNO_3\text{（过量）}=3AgNO_3+2NO\uparrow+H_2O$$

$$AgNO_2+NH_4Cl=AgCl\downarrow+NH_4NO_2$$

$$AgNO_2+KNO_2\rightleftharpoons KAg(NO_2)_2\rightleftharpoons K^++Ag(NO_2)_2^-$$

$$KAg(NO_2)_2\rightleftharpoons Ag^++K(NO_2)_2^-$$

$$AgNO_2\text{（饱和液）}+N_2H_4\cdot H_2SO_4\xlongequal{\text{冷}}AgN_3+H_2SO_4+2H_2O$$

【$Ag_2N_2O_2$】（次硝酸银）

$$Ag_2N_2O_2+2HNO_3=2AgNO_3+H_2N_2O_2$$

$$5H_2N_2O_2=2HNO_3+4N_2+4H_2O$$

$$2H_2N_2O_2=2N_2O+2H_2O$$

【$AgNO_3$】　$2AgNO_3\xlongequal{440℃}2Ag+2NO_2\uparrow+O_2\uparrow$

（有微量有机物时见光即分解）

$$4AgNO_3+2H_2O\xlongequal[90℃]{\text{电解}}4Ag\downarrow+4HNO_3+O_2\uparrow$$

$$4AgNO_3\text{（干）}+2Cl_2\text{（干燥的）}=4AgCl+2N_2O_5+O_2\uparrow$$

$$AgNO_3+Br_2+H_2O=HBrO+AgBr+HNO_3$$

$$AgNO_3+Br_2\text{（过量）}+H_2O=HBrO_2+AgBr+HNO_2$$

$$AgNO_3+I_2\xlongequal{\text{在无水酒精中}}AgI\downarrow+INO_3$$

$$3INO_3\rightleftharpoons I_2+I(NO_3)_3$$

$$6AgNO_3+3I_2=2AgIO_3+4AgI+6NO_2$$

$$2AgNO_3+2S=\underset{\text{（棕）}}{Ag_2S_2\downarrow}+2NO_2+O_2$$

（$AgNO_3$的苯甲腈溶液和硫的二硫化碳溶液的反应）

$$2AgNO_3\text{（熔化）}+Ca=2Ag+Ca(NO_3)_2$$

（此反应有时还放出NO_2）

$$2AgNO_3+Zn=Zn(NO_3)_2+2Ag\downarrow$$

$$3AgNO_3 + Sb = Sb(NO_3)_3 + 3Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + Pb = Pb(NO_3)_2 + 2Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + Cu \xlongequal{0℃} Cu(NO_3)_2 + 2Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + 3Cu \xlongequal[90℃]{电解} 2CuAg + Cu(NO_3)_2$$

$$4AgNO_3 + 4Cu + 3H_2O \xlongequal{100℃} Cu(NO_3)_2 \cdot 3Cu(OH)_2 + 4Ag + NO\uparrow + NO_2\uparrow$$

$$6AgNO_3 + 3SiH_4 = Ag_4Si\downarrow + 2Ag\downarrow + Si_2H_6 + 6HNO_3$$

$$8AgNO_3 + SiH_4 + 2H_2O = 8HNO_3 + SiO_2 + 8Ag\downarrow$$

$$AgNO_3 + 2NH_{3(足量)} = Ag(NH_3)_2NO_3$$

(加NH_3至沉淀溶解为止)

$$2Ag(NH_3)_2NO_3 + 3K_2S_2O_3 = Ag_2S_2O_3 \cdot (K_2S_2O_3)_2\downarrow + 2KNO_3 + 4NH_3$$

$$AgNO_3 + 2NH_3 = Ag(NH_3)_2NO_3$$

$$3Ag(NH_3)_2NO_3 + 3K_2S_2O_{3(浓液)} + 2H_2O = (KAgS_2O_3)_3NH_3 \cdot 2H_2O\downarrow + 5NH_3 + 3KNO_3$$

$$AgNO_3 + 2NH_3 = Ag(NH_3)_2NO_3$$

$$3Ag(NH_3)_2NO_3 + 3Rb_2S_2O_3 + 2H_2O = 3RbNO_3 + (RbAgS_2O_3)_3NH_3 \cdot 2H_2O\downarrow + 5NH_3$$

$$2AgNO_3 + H_2O_2 + 2NH_4OH = 2NH_4NO_3 + 2Ag\downarrow + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$AgNO_3 + NO_{(气流)} \xlongequal{\triangle} AgNO_2 + NO_2\uparrow$$

$$4AgNO_3 + 2ZnO \xlongequal{光} 2Zn(NO_3)_2 + 4Ag + O_2$$

$$2AgNO_3 + 2CrO_3 + H_2O = Ag_2Cr_2O_7 + 2HNO_3$$

$$2AgNO_3 + SnO + 2NaOH = 2NaNO_3 + SnO_2 + 2Ag + H_2O$$

$$6AgNO_3 + 3Cu_2O + 3H_2O = 3Cu_2(OH)_3NO_3 + 2Cu(NO_3)_2 + 6Ag$$

$$2AgNO_3 + 2NaOH = \underset{(棕色)}{Ag_2O\downarrow} + 2NaNO_3 + H_2O$$

即 $2Ag^+ + 2OH^- \rightleftharpoons 2AgOH \rightleftharpoons Ag_2O\downarrow + H_2O$

（Ag_2O不溶于过量的NaOH（或KOH）中，但易溶于HNO_3及NH_4OH中）

$$AgNO_3 + 2NH_4OH_{(过量)} = [Ag(NH_3)_2]NO_3 + 2H_2O$$

（少量NH_4OH则产生Ag_2O沉淀）

$$AgNO_3 + NH_3\cdot H_2O = AgOH + NH_4NO_3$$

$$2AgOH = Ag_2O\downarrow + H_2O$$

$$Ag_2O + 4NH_3 + H_2O \rightleftharpoons 2[Ag(NH_3)_2]OH$$

$$2AgNO_3 + Mg(OH)_2 = Mg(NO_3)_2 + Ag_2O + H_2O$$

$$2AgNO_3 + Zn(OH)_2 = Zn(NO_3)_2 + Ag_2O + H_2O$$

$$2AgNO_3 + Cd(OH)_2 = Cd(NO_3)_2 + Ag_2O + H_2O$$

$$2AgNO_3 + Pb(OH)_2 = Pb(NO_3)_2 + Ag_2O + H_2O$$

$$AgNO_3 + HCl = \underset{(白色)}{AgCl\downarrow} + HNO_3$$

$$AgNO_3 + HBr = \underset{(淡黄色)}{AgBr\downarrow} + HNO_3$$

$$AgNO_3 + HI = \underset{(黄色)}{AgI\downarrow} + HNO_3$$

$$2AgNO_3 + H_2S = \underset{(黑色)}{Ag_2S\downarrow} + 2HNO_3$$

$$2AgNO_3 + H_2SO_4 = Ag_2SO_4\downarrow + 2HNO_3$$

$$AgNO_{3(稀)} + HNO_2 = AgNO_2\downarrow + HNO_3$$

$$4AgNO_3(稀) + 2H_3PO_2(过量) + 2H_2O = 4AgH\downarrow + 4NO_2 + 2H_3PO_4 + O_2$$

$$3AgNO_3 + H_3PO_4 = Ag_3PO_4\downarrow + 3HNO_3$$

$$AgNO_3 + NH_4Cl = AgCl\downarrow + NH_4NO_3$$

$$2AgNO_3 + SnCl_2 + 4NaOH = 2NaNO_3 + 2NaCl + SnO_2 + 2Ag\downarrow + 2H_2O$$

注：用熔化的$AgNO_3$作$HgCl_2$之冻点测定其反应为：

$$2AgNO_3 + HgCl_2 \rightleftharpoons 2AgCl + Hg(NO_3)_2$$

$$2AgCl + Hg(NO_3)_2 \rightleftharpoons 2Ag^+ + 2Cl^- + Hg^{2+} + 2NO_3^-$$

$$AgNO_3(热、浓) + 2AgCl(固) = (AgCl)_2 \cdot AgNO_3$$

（可溶性复盐）

$$AgNO_3 + KBr = AgBr\downarrow + KNO_3$$

（KCl、KI有类似的反应）

$$AgNO_3 + NaBr = AgBr\downarrow + NaNO_3$$

（NaCl、NaI有类似的反应）

$$AgNO_3 + KI = AgI\downarrow + KNO_3$$

$$AgNO_3 + KCN(适量) = AgCN\downarrow + KNO_3$$

（白色）

$$AgNO_3 + 2KCN(过量) = K[Ag(CN)_2] + KNO_3$$

$$AgNO_3(10\%) + Hg(CN)_2(饱和) + 2H_2O = Hg(CN)_2 \cdot AgNO_3 \cdot 2H_2O$$

（白色）

$$AgNO_3 + KSCN = AgSCN\downarrow + KNO_3$$

（加NH_4SCN有类似的反应）

$$2AgNO_3(热溶液) + AgSCN(固) = AgSCN \cdot 2AgNO_3$$

（反应结果，使AgSCN溶解）

$$AgNO_3 + KOCN = AgOCN\downarrow + KNO_3$$

（白色）

（AgOCN溶于HNO_3和NH_4OH）

$$AgNO_3 + K_4Co(CN)_6 = K_3Co(CN)_6 + Ag + KNO_3$$

$$3AgNO_{3\,(4\%)} + K_3Cr(CN)_{6\,(2\%)} = \underset{\text{(橙黄色)}}{Ag_3Cr(CN)_6\downarrow} + 3KNO_3$$

$$AgNO_3 + KAg(CN)_2 = KNO_3 + 2AgCN\downarrow$$

$$4AgNO_3 + Cu_2S = Ag_2S\downarrow + 2Ag + 2Cu(NO_3)_2$$

$$2AgNO_3 + CuS = Ag_2S\downarrow + Cu(NO_3)_2$$

$$AgNO_3 + KClO_2 = AgClO_2\downarrow + KNO_3$$

$$AgNO_3 + KIO_3 = AgIO_3 + KNO_3$$

$$2AgNO_{3\,(\text{浓})} + Na_2SO_4 = Ag_2SO_4\downarrow + 2NaNO_3$$

$$2AgNO_3 + Na_2SO_3 = \underset{\text{(白色)}}{Ag_2SO_3\downarrow} + 2NaNO_3$$

$$2AgNO_3 + Cu_2SO_3 \xlongequal{\text{氨性溶液中}} CuSO_3 + Cu(NO_3)_2 + 2Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + NH_4HSO_3 + H_2O \xlongequal{\text{加热至80℃}} NH_4HSO_4 + 2HNO_3 + 2Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + Na_2S_2O_3 = \underset{\text{(白色)}}{Ag_2S_2O_3\downarrow} + 2NaNO_3$$

$$Ag_2S_2O_3 + H_2O = Ag_2S\downarrow + H_2SO_4$$

$$2[AgNO_3\cdot 2HgO] + 5Na_2S_2O_3 + 4H_2O \xlongequal{\triangle} 4HgS_2O_3 + 2NaNO_3 + Ag_2S_2O_3 + 8NaOH$$

$$6AgNO_3 + 8K_2S_2O_3 \xlongequal{\text{加少量}K_2CO_3} \underset{\text{(白色)}}{(Ag_2S_2O_3)_3\cdot(K_2S_2O_3)_5\downarrow} + 6KNO_3$$

$$2AgNO_3 + 3K_2S_2O_3 \xlongequal[\text{存在下}]{\text{足量}NH_3} \underset{\text{(白色)}}{Ag_2S_2O_3\cdot(K_2S_2O_3)_2\downarrow}$$

$+ 2KNO_3$

$$2AgNO_3 + (NH_4)_2S_2O_8 + 2H_2O = \underset{(黑色)}{Ag_2O_2\downarrow} + 2NH_4HSO_4 + 2HNO_3$$

$$2AgNO_3 + K_2S_2O_8 + 2H_2O = Ag_2O_2\downarrow + K_2SO_4 + H_2SO_4 + 2HNO_3$$

$$2AgNO_3 + Ag_2S_2O_8 + 2H_2O = Ag_2O_2\downarrow + Ag_2SO_4\uparrow + H_2SO_4 + 2HNO_3$$

$$AgNO_3 + NaNO_{2(很浓)} = AgNO_2\downarrow + NaNO_3$$

$$AgNO_3 + NaPO_3 = AgPO_3\downarrow + NaNO_3$$

$$AgNO_3 + 2Na_2HPO_{3(热溶液)} = 2Na_2HPO_4 + NO + Ag\downarrow$$

$$3AgNO_3 + Na_2HPO_4 \xlongequal{混合} Ag_3PO_4\downarrow + 2NaNO_3 + HNO_3$$

$$3AgNO_3 + Na_2HPO_4 + NaOH = Ag_3PO_4\downarrow + 3NaNO_3 + H_2O$$

$$3AgNO_{3(稀)} + Na_3PO_{4(2\%的明胶液)} \xlongequal{避光} Ag_3PO_4\downarrow + 3NaNO_3$$

$$4AgNO_3 + Na_4P_2O_7 = Ag_4P_2O_7\downarrow + 4NaNO_3$$

$$4AgNO_3 + Na_2H_2P_2O_7 + 2NaOH \xlongequal{pH=8.8} Ag_4P_2O_7\downarrow + 4NaNO_3 + 2H_2O$$

$$2AgNO_3 + Na_2CO_3 = Ag_2CO_3\downarrow + 2NaNO_3$$

$$2AgNO_3 + CaCO_3 \xlongequal{光} Ca(NO_3)_2 + Ag_2CO_3\downarrow$$

$$2AgNO_3 + K_2CrO_4 = \underset{(红色)}{Ag_2CrO_4\downarrow} + 2KNO_3$$

$$2AgNO_3 + K_2Cr_2O_7 \xlongequal{} Ag_2Cr_2O_7\downarrow + 2KNO_3$$

（在明胶溶液中进行的反应）

$$2AgNO_{3(\text{干燥的})} + K_2Cr_2O_{7(\text{干燥的})} \xlongequal{\text{共研}} Ag_2Cr_2O_7 + 2KNO_3$$

$$4AgNO_3 + N_2H_4 \xlongequal{} 4HNO_3 + 4Ag + N_2$$

（银镜反应）

$$AgNO_3 + 3NH_4OH \xlongequal{} NH_4NO_3 + Ag(NH_3)_2OH + 2H_2O$$

$$2Ag(NH_3)_2OH + HCHO \xlongequal{\triangle} HCOONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$$

或

$$2AgNO_3 + 2NH_4OH \xlongequal{} 2NH_4NO_3 + Ag_2O + H_2O$$

$$Ag_2O + 2NH_4OH + HCOOH \xlongequal{} (NH_4)_2CO_3 + 2Ag + 2H_2O$$

$$2AgNO_3 + 2NH_4OH + C_6H_{12}O_6 \xlongequal{} 2NH_4NO_3 + 2Ag\downarrow + C_6H_{11}O_5COOH + H_2O$$

$$2AgNO_3 + 2NH_3 + HCOOH \xlongequal{} 2NH_4NO_3 + CO_2\uparrow + 2Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + 2NH_4OH + H{-}C{\equiv}C{-}H \xlongequal{} 2NH_4NO_3 + Ag{-}C{\equiv}C{-}Ag + 2H_2O$$

$$2AgNO_3 + (COONa)_2 \xlongequal{} (COOAg)_2\downarrow + 2NaNO_3$$

$$AgNO_3 + HCOONa \xlongequal{} HCOOAg\downarrow + NaNO_3$$

（甲酸钠）

$$2HCOOAg \xlongequal{} HCOOH + 2Ag\downarrow + CO_2$$

$$2AgNO_3 + HCOONa \xlongequal{} NaNO_3 + HNO_3 + 2Ag\downarrow + CO_2$$

$$2AgNO_3 + 2HCOONH_{4(\text{沸液})} \xlongequal{} 2NH_4NO_3 + 2CO_2 + H_2 + 2Ag\downarrow$$

$$2AgNO_3 + Na_2C_2O_4 = Ag_2C_2O_4\downarrow + 2NaNO_3$$
（白）

（$Ag_2C_2O_4$易溶于HNO_3或NH_4OH中）

$$2AgNO_3 + C_2H_4(COONa)_2 = C_2H_4(COOAg)_2\downarrow + 2NaNO_3$$
（丁二酸钠）（白）

$$3AgNO_3 + Na_3C_6H_5O_7 = Ag_3C_6H_5O_7\downarrow + 3NaNO_3$$
（柠檬酸钠）（白色）

$$AgNO_3 + C_6H_4(OH)COONa \xlongequal{\text{中性液中}} C_6H_4(OH)COOAg\downarrow + NaNO_3$$
（水杨酸钠）

$$AgNO_3 + C_6H_5COOK \xlongequal{\text{中性液中}} C_6H_5COOAg\downarrow + KNO_3$$
（苯甲酸钾）（白色）

【Ag_3PO_4】 $$Ag_3PO_4 + 4NH_4OH \xlongequal{\text{于KOH上蒸发}} Ag_3PO_4\cdot(NH_3)_4 + 4H_2O$$

$$Ag_3PO_4 + 6NH_4OH = 3[Ag(NH_3)_2]^+ + PO_4^{3-} + 6H_2O$$

$$Ag_3PO_4 + HNO_3 = HPO_4^{2-} + 3Ag^+ + NO_3^-$$

【Ag_3AsO_3】 $$2Ag_3AsO_3 + 2NaOH(4—6N) \rightleftharpoons 2NaAsO_2 + 3Ag_2O + H_2O$$

$$2Ag_3AsO_3 + 6NaOH(0.5N) \xrightleftharpoons{58℃} 2Na_3AsO_4 + Ag_2O + 4Ag + 3H_2O$$

$$2Ag_3AsO_3 + 2NaOH(0.5N—1.5N) + H_2O \rightleftharpoons 2NaH_2AsO_3 + 3Ag_2O$$

【Ag_2CO_3】 $$Ag_2CO_3 \xlongequal{\triangle} Ag_2O + CO_2\uparrow$$

$$2Ag_2O \xlongequal{\triangle} 4Ag + O_2\uparrow$$

$$Ag_2CO_3 + 2HClO_4 = 2AgClO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Ag_2CO_3 + 2HNO_3 = 2AgNO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$15Ag_2CO_3 + 8FeS_2 + 2KHCO_3 \xlongequal{180℃} 15Ag_2S + 4Fe_2O_3 + K_2SO_4 + 17CO_2 + H_2O$$

【Ag_2CrO_4】 $Ag_2CrO_{4(\text{醚溶液})} + I_2 = 2AgI\downarrow + CrO_4^{2-}$

$$Ag_2CrO_4 + 2KCl = 2AgCl\downarrow + K_2CrO_4$$

【$Ag_2M_0O_4$】 $Ag_2MoO_4 + 4NH_4OH = Ag_2MoO_4\cdot(NH_3)_4 + 4H_2O$

【Ag_2WO_4】 $Ag_2WO_4 + 4NH_4OH = Ag_2WO_4\cdot(NH_3)_4 + 4H_2O$

【CH_3COOAg】 $CH_3COOAg + Br_{2(\text{溴水})} = AgBr\downarrow + CH_3Br + CO_2$

$$2CH_3COOAg + I_2 = 2AgI\downarrow + CH_3COOCH_3 + CO_2$$

$$CH_3COOAg + HNO_3 = Ag^+ + CH_3COOH + NO_3^-$$

$$2CH_3COOAg + HCOONa = CH_3COOH + 2Ag\downarrow + CO_2\uparrow + CH_3COONa$$

【Ag^+】 $Ag^+ + 2NH_3 = [Ag(NH_3)_2]^+$ （二氨合银离子）

$$Ag^+ + Cl^- \rightleftharpoons AgCl\downarrow$$
（白色）

$$Ag^+ + Br^- \rightleftharpoons AgBr\downarrow$$
（淡黄色）

$$Ag^+ + I^- \rightleftharpoons AgI\downarrow$$
（黄色）

$$Ag^+ + CN^- = AgCN\downarrow$$
（白色）

$$Ag^+ + 2CN^- = Ag(CN)_2^-$$

$$2Ag(CN)_2^- + Zn = Zn(CN)_4^{2-} + 2Ag\downarrow$$

$$Ag + CNS^- \xlongequal{} AgCNS$$

$$Ag^+ + Fe^{2+} \xlongequal{沸溶液} Ag\downarrow + Fe^{3+}$$

$$Ag^+ + BrO_3^- \xlongequal{} AgBrO_3\downarrow$$

(黄色)

$$2Ag^+ + S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons Ag_2S_2O_3\downarrow$$

(白色)

$$Ag_2S_2O_3 + H_2O \xlongequal{} Ag_2S\downarrow + H_2SO_4$$

$$Ag_2S_2O_3 + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons [Ag_2(S_2O_3)_3]^{4-}$$

(在过量的$S_2O_3{}^{2-}$中进行的反应)

$$[Ag_2(S_2O_3)_3]^{4-} + 2H^+ \xlongequal{} Ag_2S\downarrow + H_2O + 2S\downarrow + SO_4^{2-} + 2SO_2\uparrow$$

$$2[Ag(S_2O_3)_2]^{3-} + S^{2-} \xlongequal{} Ag_2S\downarrow + 4S_2O_3^{2-}$$

(Ag_2S可溶于HNO_3中)

$$3Ag^+ + 2HPO_4^{2-} \xlongequal{} Ag_3PO_4\downarrow + H_2PO_4^-$$

$$3Ag^+ + AsO_4^{3-} \xlongequal{中性或HAc中} Ag_3AsO_4\downarrow$$

(黑褐棕色)

$$3Ag^+ + AsO_3^{3-} \xlongequal{中性或HAc中} Ag_3AsO_3\downarrow$$

(黄色)

$$2Ag^+ + Cr_2O_7^{2-} \rightleftharpoons Ag_2Cr_2O_7$$

(淡红棕色)

$$2Ag_2Cr_2O_7 + H_2O \xlongequal{共煮沸} 2Ag_2CrO_4 + H_2Cr_2O_7$$

$$2Ag^+ + CrO_4^{2-} \xlongequal{} Ag_2CrO_4\downarrow$$

(砖红色)

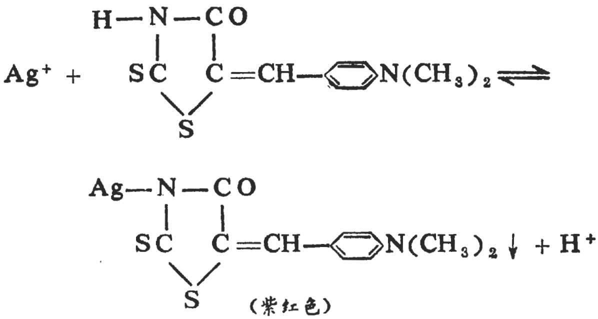
(Ag_2CrO_4沉淀可溶于HNO_3及NH_4OH中)

$$2Ag^+ + C_4H_4O_6^{2-} \overset{中性}{\rightleftharpoons} Ag_2C_4H_4O_6\downarrow$$

(白色)

$$Ag^+ + 3S{=}C\begin{matrix}\diagup NH_2\\ \diagdown NH_2\end{matrix} \xlongequal{} Ag\left[S{=}C\begin{matrix}\diagup NH_2\\ \diagdown NH_2\end{matrix}\right]_3^+$$

$$Ag^{+} + H_2Y^{2-} \rightleftharpoons AgY^{3-} + 2H^{+}$$
(EDTA)



(试银灵又叫二甲氨基苄叉若丹宁)

6.3　金　$5d^{10}6s^{1}$　Au＝196.9665

【Au】　$2Au + 3Cl_2 \xlongequal{200℃} 2AuCl_3$
(褐红色)

$$2Au + 3Br_2 \xlongequal{200℃} 2AuBr_3$$

$$2Au + H_2O_2 \xlongequal{酸性} Au_2O + H_2O$$

$$Au_2O + H_2O_2 = 2Au + O_2 + H_2O$$

$$2Au + 3Na_2O_2 = 2NaAuO_2 + 2Na_2O$$

$$2Au + K_2O_4 = 2KAuO_2$$
(偏金酸钾)

$$2Au + Fe_2O_3 + 4HI = 2AuI + FeI_2 + FeO + 2H_2O$$

$$Au + 3HCl_{(浓)} + HNO_{3(浓)} = AuCl_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$

分步反应为：

$$HNO_{3(浓)} + 3HCl_{(浓)} = NO\uparrow + 3[Cl] + 2H_2O$$

$$Au + 3[Cl] = AuCl_3$$

金在王水中不完全溶解时，则有中间产物：

$$4Au + 6HCl + 6HNO_3 = 2Au_2O_2 + 6NOCl + O_2 + 6H_2O$$

或 $$2Au + 9HCl + 3HNO_3 = 2AuCl_3 + 3NOCl + 6H_2O$$

$$AuCl_3 + HCl = HAuCl_4$$

$$2Au_{(含在乙醚中)} + 6HI_{(气)} = 2AuI_3 + 3H_2 \uparrow$$

$$Au + 3CoCl_3 = AuCl_3 + 3CoCl_2$$

$$Au + 3NiCl_3 = AuCl_3 + 3NiCl_2$$

$$2Au + 3MnCl_4 = 2AuCl_3 + 3MnCl_2$$

$$4Au + 8NaCN + O_2 + 2H_2O = 4Na[Au(CN)_2] + 4NaOH$$

$$2[Au(CN)_2]^- + Zn = 2Au + [Zn(CN)_4]^{2-}$$

【Au_2O】 $$3Au_2O + 6HCl = 2AuCl_3 + 4Au + 3H_2O$$

$$Au_2O + 4Na_2S_2O_3 + H_2O = 2Na_3Au(S_2O_3)_2 \downarrow + 2NaOH$$

【Au_2O_3】 $$Au_2O_3 \xlongequal{\triangle} Au_2O + O_2 \uparrow$$

$$2Au_2O_3 \xlongequal{250\ ℃} 4Au + 3O_2 \uparrow$$

$$Au_2O_3 + 3H_2O_2 = 2Au + 3O_2 \uparrow + 3H_2O$$

$$Au_2O_3 + 2KOH_{(过量)} = 2KAuO_2 + H_2O$$

$$Au_2O_3 + 4NH_4OH = Au_2O_3 \cdot 4NH_3 + 4H_2O$$

$$Au_2O_3 + 6HI = 2AuI + 2I_2 + 3H_2O$$

$$Au_2O_3 + 4Na_2S_2O_3 + 2H_2O = 2Na_2S_4O_6 + 4NaOH + Au_2O$$

【$Au(OH)_3$】 $$Au(OH)_3 + NaOH = Na[Au(OH)_4]$$

$$Na[Au(OH)_4] = NaAuO_2 + 2H_2O$$

$$Au(OH)_3 + 3HCl = AuCl_3 + 3H_2O$$

【$NaAuO_2$】 $2NaAuO_2 + H_2SO_4 = Au_2O_3\downarrow + Na_2SO_4 + H_2O$

$$2NaAuO_2 + H_2SO_4 + 2H_2O = Na_2SO_4 + Au_2O_2(OH)_2\cdot 2H_2O\downarrow$$

【AuCl】 $2AuCl \xlongequal{\triangle} 2Au + Cl_2\uparrow$

$$3AuCl \xlongequal{\text{在热水中}} AuCl_3 + 2Au$$

$$AuCl + HCl = H[AuCl_2]$$

$$3H[AuCl_2] = H[AuCl_4] + 2Au + 2HCl$$

【$AuCl_2$】 $2AuCl_2 \xlongequal{\triangle} 2AuCl + Cl_2\uparrow$

【$AuCl_3$】 $2AuCl_3 \xlongequal[200℃]{\triangle} 2Au + 3Cl_2\uparrow$

$$AuCl_3\text{(无水)} \xlongequal{185℃} AuCl + Cl_2\uparrow$$

$$2Au^{3+} + 3H_2 = 2Au\downarrow + 6H^+$$

$$AuCl_3 + 2I_2 = AuI + 3ICl$$

$$2AuCl_3 + 3Zn = 2Au\downarrow + 3ZnCl_2$$

$$AuCl_3 + H_2O = \underset{\text{(氧三氯络金酸)}}{H_2[AuCl_3O]}$$

$$2AuCl_3 + 3H_2O_2 = 2Au\downarrow + 6HCl + 3O_2\uparrow$$

$$AuCl\text{(无水)} + CO\text{(干燥)} \xlongequal{100—130℃} AuCl + COCl_2$$

$$AuCl + CO = AuCOCl$$

$$2AuCl_3 + 3Na_2O_2 = 6NaCl + 2Au\downarrow + 3O_2$$

$$2AuCl_3 + 3MgO + 3H_2O = 2Au(OH)_3\downarrow + 3MgCl_2$$

$$2AuCl_3 + 3MnO_2 = 3MnCl_2 + 2Au\downarrow + 3O_2$$

$$2AuCl_3 + 3PbO_2 \xlongequal{\text{中性或碱性条件}} 3PbCl_2 + 2Au\downarrow + 3O_2$$

$$2AuCl_3 + Pb_3O_4 \xlongequal{\text{中性或碱性条件}} 3PbCl_2 + 2Au + 2O_2$$

$$4AuCl_3 + 6CuO = 4Au + 6CuCl_2 + 3O_2$$

$$AuCl_{3\,(\text{浓})} + 3NaOH_{(\text{浓})} = \underset{(\text{深红色})}{Au(OH)_3}\downarrow + 3NaCl$$

$$AuCl_3 + 3NH_4OH = Au(OH)_3 + 3NH_4Cl$$

$$2AuCl_3 + 6NH_4OH = Au_2O\downarrow + 6NH_4Cl + O_2 + 3H_2O$$

$$Au_2O + 4KCN + H_2O = 2KAu(CN)_2 + 2KOH$$

$$AuCl_3 + HCl = H[AuCl_4]$$

$$AuCl_3 + 3HBr = AuBr_3 + 3HCl$$

$$AuBr_3 + HBr = HAuBr_4$$

$$8AuCl_3 + 9H_2S + 4H_2O \xlongequal{\text{室温}} 4Au_2S_2\downarrow + 24HCl + H_2SO_4$$

$$8AuCl_3 + 3H_2S + 12H_2O \xlongequal{90^\circ C} 3H_2SO_4 + 24HCl + 8Au$$

$$2AuCl_3 + 3H_2C_2O_{4\,(\text{浓})} = 6HCl + 6CO_2 + 2Au$$

$$2AuCl_3 + 3SnCl_{2\,(\text{很稀})} + 6H_2O = 3SnO_2\downarrow + 12HCl + 2Au$$

$$AuCl_3 + 3HgCl \xlongequal{\text{过量水参加}} 3HgCl_2 + Au$$

$$AuCl_3 + 2KBr = AuCl + 2KCl + Br_2$$

$$AuCl_3 + 3KI = AuI + 3KCl + I_2$$

$$AuCl_3 + 4KCN = Au(CN)_3 \cdot KCN + 3KCl$$

$$AuCl_3 + 3FeSO_{4\,(\text{过量})} = Fe_2(SO_4)_3 + FeCl_3 + Au\downarrow$$

$$AuCl_3 + 2Na_2S_2O_3 = Na_3Au(S_2O_3)_2 + NaCl + Cl_2$$

$$4AuCl_3 + 6MgCO_3 \xlongequal{310℃} 6MgCl_2 + 6CO_2 + 4Au + 3O_2$$

$$4AuCl_3 + 3Mg(HCO_3)_2 \xlongequal{322℃} 2Au(OH)_3 + 3MgCl_2 + 6CO_2 + 3Cl_2 + 2Au$$

$$4AuCl_3 + 6CaCO_3 \xlongequal[加压]{310℃} 6CaCl_2 + 6CO_2 + 4Au + 3O_2$$

$$2AuCl_3 + 3Ag_2CrO_4 = Au_2(CrO_4)_3 + 6AgCl$$

$$2Au_2(CrO_4)_3 \xlongequal{蒸发} 4Au + 6CrO_3 + 3O_2$$

$$Au_2(CrO_4)_3 + CrO_3 = Au_2(CrO_4)_3 \cdot CrO_3 \downarrow$$

$$AuCl_3 + 3KMnO_4 \xlongequal{放置} 3MnO_2 \downarrow + 3KCl + Au \downarrow + 3O_2$$

【AuCN】 $AuCN + KCN = K[Au(CN)_2]$

【Au_2S】 $Au_2S + 2KHS = 2K[AuS] + H_2S$

$$Au_2S + 4KCN = 2KAu(CN)_2 + K_2S$$

$$Au_2S + 4CN^- = 2[Au(CN)_2]^- + S^{2-}$$

【$AuSO_4$】 $3AuSO_4 + 4H_2O \xlongequal{煮沸} Au_3O_2(OH)_2 \downarrow + 3H_2SO_4$

【$HAuCl_4$】 $2HAuCl_4 \xlongequal{\triangle} 2HCl + 2Au + 3Cl_2 \uparrow$

$$2AuCl_4^- + 3Cu(固) = 2Au(固) + 8Cl^- + 3Cu^{2+}$$

(伏打电池内发生的反应)

$$2AuCl_4^- + AsH_3(气) + 3H_2O = H_3AsO_3 + 2Au + 8Cl^- + 6H^+$$

$$2HAuCl_4 + 3H_2O_2 + 8NaOH = 8NaCl + 2Au + 3O_2 + 8H_2O$$

$$2HAuCl_4 + 3H_2S \xlongequal{冷} Au_2S + 8HCl + 2S$$

$$2HAuCl_4 + 3H_2C_2O_4 \xlongequal{} 8HCl + 2Au\downarrow + 6CO_2\uparrow$$

（$HAuBr_4$有类似的反应）

$$2HAuCl_4 + 8AgNO_3（过量）+ 3H_2O \xlongequal{} Au_2O_3\downarrow + 8AgCl\downarrow + 8HNO_3$$

$$HAuCl_4\cdot 3H_2O + 4AgNO_3 \xlongequal{} Au(OH)_3\cdot 4AgCl\downarrow + 4HNO_3$$

（棕色）

$$2HAuCl_4 + 4Ag_2CO_3 \xlongequal{\triangle} Au_2O_3\downarrow + 8AgCl + 4CO_2 + H_2O$$

$$2HAuCl_4 + 3SnCl_2 \xlongequal{中性或微酸性} 3SnCl_4 + 2Au\downarrow + 2HCl$$

【$KAuBr_4$】 $2KAuBr_4 + H_2SO_3 \xlongequal{} 2HBr + K_2SO_3 + 3Br_2 + 2Au$

$$KAuBr_4 + H_2SO_3 + H_2O \xlongequal{} KAuBr_2 + 2HBr + H_2SO_4$$

【$KAu(CN)_2$】 $2KAu(CN)_2 + Zn \xlongequal{} K_2[Zn(CN)_4] + 2Au\downarrow$

$$4KAu(CN)_2 + 2H_2O \xlongequal{电解} 4KCN + 4HCN + 4Au + O_2\uparrow$$

$$KAu(CN)_2 + HCl \xlongequal{50℃} AuCN\downarrow + KCl + HCN$$

$$2Au(CN)_2^- + H_2S + 2H^+ \xlongequal{} Au_2S\downarrow + 4HCN$$

$$2KAu(CN)_2 + S^{2-} \rightleftharpoons Au_2S + 4CN^- + 2K^+$$

$$2KAu(CN)_2 + 4KCN + 4Zn + 2H_2O \xlongequal{} 2K_2[Zn(CN)_4] + 2Au\downarrow + 2KOH + H_2\uparrow$$

【$H_2(AuCl_3O)$】 $H_2[AuCl_3O] + HCl \xlongequal{} H[AuCl_4] + H_2O$

$$[AuCl_3O]^{2-} + 2Ag^+ = Ag_2(AuCl_3O)$$

【AuCOCl】 $AuCOCl$(苯溶液) $+ Br_2 = AuClBr_2 + CO$

$2AuCOCl$(苯溶液) $+ H_2O = 2Au + CO + CO_2 + 2HCl$

$AuCOCl$(苯溶液) $+ PCl_3 = AuCl \cdot PCl_3 + CO$

$AuCOCl$(苯溶液) $+ KI = AuI + CO + KCl$

$AuCOCl$(苯溶液) $+ AuCl_3 = 2AuCl + COCl_2$

【$Au_2O_2(OH)_2 \cdot 2H_2O$】 $Au_2O_2(OH)_2 \cdot 2H_2O + 2KOH = 2KAuO_2 + 4H_2O$

【$AuOHSO_4$】 $AuOHSO_4 + H_2O = AuOOH + H_2SO_4$
(先溶于浓硫酸)

【$NH_4[Au(CN)_4] \cdot H_2O$】

$$NH_4[Au(CN)_4] \cdot H_2O + 2H_2O \xlongequal[\triangle]{\text{加浓}H_2SO_4} HCN\uparrow + Au(CN)_3 \cdot 3H_2O + NH_3\uparrow$$

第七章 锌分族

7.1 锌 $3d^{10}4s^2$ Zn＝65.37

【Zn】 $Zn + X_2 \xrightarrow{\triangle} ZnX_2$

（常温时缓慢，X_2表示卤素）

$2Zn + O_2 \xrightarrow[\text{燃烧}]{1000℃} 2ZnO$

$4Zn + \underbrace{2O_2 + 3H_2O + CO_2}_{\text{空气}} = ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$

$3Zn + 2P \xrightarrow{600℃} Zn_3P_2$

$3Zn + 2NH_3 \xrightarrow{600℃} Zn_3N_2 + 3H_2$

（灰色）

$Zn_{(\text{水混悬液})} + 2SO_2 = ZnS_2O_4$

$Zn_{(\text{红热})} + CO_2 = ZnO + CO\uparrow$

$Zn_{(\text{红热})} + H_2O_{(\text{气})} = ZnO + H_2\uparrow$

$Zn + H_2O_2 = Zn(OH)_2$

注： Zn不能和H_2O起反应，因生成不溶于水的$Zn(OH)_2$，阻止反应继续进行，当有碱存在时，$Zn(OH)_2$可溶于碱而使Zn继续与H_2O反应。

$Zn + 2H_2O = Zn(OH)_2\downarrow + H_2\uparrow$

$Zn + 2NaOH + 2H_2O = Na_2[Zn(OH)_4] + H_2\uparrow$

$Zn + NaOH + 2H_2O = Na[Zn(OH)_3] + H_2\uparrow$

$$Zn + 2NaOH = Na_2ZnO_2 + H_2\uparrow$$

（Al有类似的反应）

$$Zn + 2OH^- = ZnO_2^- + H_2\uparrow$$

（Zn溶于强碱的反应）

$$Zn + 2OH^- + 2H_2O = [Zn(OH)_4]^{2-} + H_2\uparrow$$

$$Zn + 4NH_3 + 2H_2O = [Zn(NH_3)_4](OH)_2 + H_2\uparrow$$

（Al不能发生类似的反应）

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Zn + H_2SO_{4(稀)} = ZnSO_4 + H_2\uparrow$$

$$Zn + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} ZnSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3Zn + 4H_2SO_{4(浓)} = 3ZnSO_4 + S\downarrow + 4H_2O$$

$$4Zn + 5H_2SO_{4(浓)} = 4ZnSO_4 + H_2S\uparrow + 4H_2O$$

$$4Zn + HNO_3 + 5H_2SO_4 = NH_4HSO_4 + 4ZnSO_4 + 3H_2O$$

注：Zn与HNO_3反应随反应温度和 HNO_3 浓度的不同而有不同的产物：

$$3Zn + 8HNO_{3(稀1:2)} = 3Zn(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$4Zn + 9HNO_{3(很稀1:10)} = 4Zn(NO_3)_2 + NH_3\uparrow + 3H_2O$$

（生成的NH_3可继续被氧化成NH_4NO_3）

$$4Zn + 10HNO_{3\ (1:10)} = 4Zn(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

$$4Zn + 10HNO_{3(稀)} = 4Zn(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + 5H_2O$$

$$Zn + 4HNO_{3(浓)} = Zn(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$Zn + 2AgI + H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} ZnSO_4 + 2Ag\downarrow + 2HI$$

$$Zn + KNO_3 \xlongequal{中性溶液中} KNO_2 + ZnO$$

$$Zn + NH_4NO_3 + 2HNO_3 = Zn(NO_3)_2 + N_2 + 3H_2O$$

$$4Zn_{(粉)} + NO_3^- + 7OH^- = 4ZnO_2^- + NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$4Zn + NO_3^- + 7OH^- + 6H_2O = 4Zn(OH)_4^{2-} + NH_3\uparrow$$

$$Zn + NO_3^- + 2CH_3COOH = 2CH_3COO^- + NO_2^- + Zn^{2+} + H_2O$$

$$5Zn + 2MnO_4^- + 16H^+ \xlongequal{Fe^{3+}催化} 2Mn^{2+} + 5Zn^{2+} + 8H_2O$$

注：干电池使用时的电极反应：

锌极：$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

碳极：$2NH_4^+ + 2e^- \longrightarrow 2NH_3 + H_2$

$H_2 + MnO_2 \longrightarrow MnO + H_2O$

碳极总反应：

$$2NH_4^+ + MnO_2 + 2e^- \longrightarrow MnO + 2NH_3 + H_2O$$

净电池反应：

$$Zn + 2MnO_2 + 2NH_4Cl_{(液)} = 2MnO(OH)_{(固)} + [Zn(NH_3)_2]Cl_{2(液)}$$

注：银锌蓄电池内的净反应：

$$Zn + Ag_2O + H_2O \underset{放电}{\overset{充电}{\rightleftharpoons}} Zn(OH)_2 + 2Ag$$

注：罗宾—马洛瑞电池反应：

阳极：$Zn + 2OH^- \longrightarrow Zn(OH)_2 + 2e^-$

阴极：$HgO + H_2O + 2e^- \longrightarrow Hg + 2OH^-$

净电池反应：

$$Zn + HgO + H_2O \longrightarrow Zn(OH)_2 + Hg$$

【ZnO】 $ZnO + C \xlongequal{\triangle} Zn + CO\uparrow$

$$ZnO + Fe_2O_3 \xrightarrow[\text{焙烧}]{600-650℃} ZnO \cdot Fe_2O_3$$

$$ZnO_{(固)} + CoO_{(固)} \xrightarrow{\text{高温}} CoZnO_2 \text{（绿色）}$$

$$ZnO + 2NaOH = Na_2ZnO_2 + H_2O$$

$$ZnO + 2HCl = ZnCl_2 + H_2O$$

（加稀 H_2SO_4 有类似的反应）

$$3ZnO + ZnSO_4 + 2H_2O \xrightarrow{\triangle} (ZnO)_3 \cdot ZnSO_4 \cdot 2H_2O$$

【$Zn(OH)_2$】　$$Zn(OH)_2 \xrightarrow{\text{加热至}125℃} ZnO + H_2O$$

$$H^+ + HZnO_2^- \rightleftharpoons Zn(OH)_2 \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2OH^-$$

$$Zn(OH)_2 + 4NH_3 = Zn(NH_3)_4^{2+} + 2OH^-$$

（$Al(OH)_3$ 无此反应）

$$Zn(OH)_2 + 6NH_4OH_{(过量)} = [Zn(NH_3)_6](OH)_2 + 6H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + 4NH_3 \cdot H_2OH = [Zn(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^- + 4H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + 2NaOH = Na_2[Zn(OH)_4]$$

（锌酸钠）

$$H_2ZnO_2 + 2NaOH \rightleftharpoons Na_2ZnO_2 + 2H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + OH^- \rightleftharpoons HZnO_2^- + H_2O$$

$$HZnO_2^- + H_2S \xrightarrow{\text{在碱性溶液中}} ZnS + OH^- + H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + H_2SO_4 \rightleftharpoons ZnSO_4 + 2H_2O$$

$$Zn(OH)_2 + 2H^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2H_2O$$

【$ZnCl_2$】　$$ZnCl_2 \cdot H_2O \overset{\triangle}{\rightleftharpoons} Zn(OH)Cl + HCl$$

$$ZnCl_2 + H_2O = Zn(OH)Cl + H^+ + Cl^-$$

注：$ZnCl_2$ 的浓溶液可形成络合酸，有酸性：

$$ZnCl_2 + H_2O = H[ZnCl_2OH],$$

此络合酸能溶解金属氧化物，如焊接时用$ZnCl_2$去氧化物。

$$2[HZnCl_2OH]+FeO = Fe[ZnCl_2OH]_2+H_2O$$

$$ZnCl_{2(浓液)}+H_2S_{(气)} = ZnS\downarrow+2HCl$$

（白色）

$$ZnCl_2+(NH_4)_2S = ZnS\downarrow+2NH_4Cl$$

（白色）

（锌盐的检验方法之一）

$$Zn^{2+}+Hg(SCN)_4^{2-} = ZnHg(SCN)_4\downarrow$$

（白色）

$$3ZnCl_2+2K_4[Fe(CN)_6] = K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow+6KCl$$

（白色，亚铁氰化锌钾）

$$ZnCl_2+Na_2SO_4 = ZnSO_4+2NaCl$$

$$Zn^{2+}+4HPO_4^{2-} \rightleftharpoons Zn_3(PO_4)_2\downarrow+2H_2PO_4^-$$

$$Zn_3(PO_4)_2+2H^+ \rightleftharpoons 3Zn^{2+}+2HPO_4^{2-}$$

$$3Zn^{2+}+3CO_3^{2-}+2H_2O = ZnCO_3\cdot 2Zn(OH)_2\downarrow+2CO_2$$

（白色）

【ZnS】 $ZnS \rightleftharpoons Zn^{2+}+S^{2-}$

$$ZnS+I_2 = ZnI_2+S$$

注：ZnS难溶于水，能溶于H_2O_2和溴水：

$$S^{2-}+4Br_2+4H_2O = 8HBr+SO_4^{2-}$$

$$S^{2-}+4H_2O_2 = 4H_2O+SO_4^{2-}$$

$$ZnS+2O_2 \xlongequal{700℃} ZnSO_4$$

（温度在低度赤热下发生的主要反应）

$$2ZnS+3O_2 \xlongequal{700℃} 2ZnO+2SO_2\uparrow$$

$$ZnS+2HCl = ZnCl_2+H_2S\uparrow$$

$$ZnS+2AgNO_3 = Ag_2S\downarrow+Zn(NO_3)_2$$

【Zn_3P_2】 $Zn_3P_2+6HCl = 3ZnCl_2+2PH_3\uparrow$

（PH_3极毒，故Zn_3P_2能作杀鼠剂）

【$ZnSO_4$】 $ZnSO_4\cdot 7H_2O \xrightleftharpoons{39℃} ZnSO_4\cdot 6H_2O$

$\xrightleftharpoons{60℃} ZnSO_4\cdot H_2O \xrightleftharpoons{240℃} ZnSO_4$

$\xrightleftharpoons{930℃} ZnO + SO_3\uparrow$

$$2ZnSO_4 + ZnO \xlongequal{\triangle} 3ZnO\cdot 2SO_3\text{（不溶）}$$

注：$ZnSO_4$溶液加浓氨水起初有沉淀，若继续加氨水沉淀则溶解：

$$ZnSO_4 + 4NH_3 = [Zn(NH_3)_4]SO_4$$

$$[Zn(NH_3)_4]SO_4 + H_2S = (NH_4)_2SO_4 + ZnS\downarrow + 2NH_3$$

$$ZnSO_4 + 2NH_4OH = \underset{\text{（白色）}}{Zn(OH)_2}\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + 4NaOH = Na_2ZnO_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$ZnSO_4 + H_2S = ZnS\downarrow + H_2SO_4$$

（反应在酸性溶液中进行）

$$ZnSO_4 + H_2S + 2NH_4OH = (NH_4)_2SO_4 + ZnS\downarrow + 2H_2O$$

$$ZnSO_4 + Na_2S = ZnS\downarrow + Na_2SO_4$$

$$ZnSO_4 + (NH_4)_2S = ZnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$ZnSO_{4\text{（溶液）}} + BaS_{\text{（溶液）}} = \underset{\text{（立德粉）}}{ZnS\cdot BaSO_4}\downarrow$$

$$15ZnSO_4 + 20KI + 4KIO_3 + 12H_2O = 12K_2SO_4 + 12I_2 + 3ZnSO_4\cdot[Zn(OH)_2]_4\downarrow$$

$$ZnSO_4 + NH_4Cl + 2Na_2HPO_4 = \underset{\text{（磷酸铵锌结晶）}}{ZnNH_4PO_4}\downarrow + NaCl + NaH_2PO_4 + Na_2SO_4$$

$$Zn^{2+} + NH_4^+ + 2HPO_4^{2-} \rightleftharpoons ZnNH_4PO_4\downarrow + H_2PO_4^-$$

$$ZnSO_4 + 2CN^- = Zn(CN)_2 + SO_4^{2-}$$

$$Zn(CN)_2 + 2CN^-(过量) = Zn(CN)_4^{2-}$$

$$Zn(CN)_4^{2-} + 2H^+ = Zn(CN)_2 + 2HCN$$

$$Zn(CN)_4^{2-} + S^{2-} = ZnS + 4CN^-$$

$$ZnSO_4 + 3Na_2S_2O_4 = ZnS\downarrow + Na_2SO_4 + 2Na_2S_2O_5 + SO_2\uparrow$$

$$3ZnSO_4 + 2K_4[Fe(CN)_6] = \underset{(白色)}{K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2}\downarrow + 3K_2SO_4$$

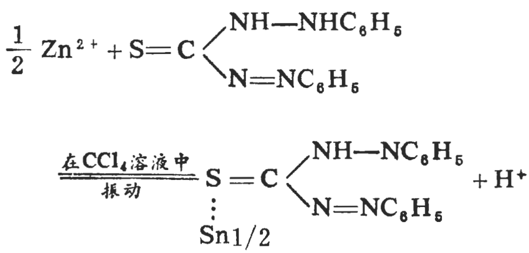
($K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2$不溶于酸，溶于碱)

$$K_2Zn_3[Fe(CN)_6]_2 + 12OH^- = 2[Fe(CN)_6]^{4-} + 3ZnO_2^{2-} + 2K^+ + 6H_2O$$

$$3ZnSO_4 + 2K_3[Fe(CN)_6] = \underset{(黄色)}{Zn_3[Fe(CN)_6]_2}\downarrow + 3K_2SO_4$$

(产物中的沉淀溶于HCl和NH_4OH)

$$ZnSO_4 + (NH_4)_2Hg(CNS)_4 = \underset{(白色)}{ZnHg(CNS)_4}\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$



【ZnS_2O_4】 $ZnS_2O_4 + Na_2CO_3 + 2H_2O = ZnCO_3\downarrow + Na_2S_2O_4\cdot 2H_2O$

【$Zn(NO_3)_2$】 $2Zn(NO_3)_2 \xlongequal{\triangle} 2ZnO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$$Zn(NO_3)_2 + Co(NO_3)_2 \xlongequal{\text{煅烧}} \underset{(\text{绿色})}{CoZnO_2} + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

【$ZnCO_3$】　$ZnCO_3 \xlongequal{350℃} ZnO + CO_2$

7.2　镉　$4d^{10}5s^2$　Cd = 112.40

【Cd】　$Cd + X_2 \xlongequal{\triangle} CdX_2$

$(X_2 = F_2、Cl_2、Br_2)$

$Cd + S \xlongequal{\triangle} CdS$

$2Cd + O_2 \xlongequal{\text{燃烧}} 2CdO$

$Cd + 2HCl = CdCl_2 + H_2\uparrow$

（与稀H_2SO_4作用类似）

注： Cd和稀HNO_3的反应与Zn相似。

Cd与H_2、N_2不反应。与碱也不起反应。

【CdO】　$CdO + KOH_{(\text{熔化})} = KOH\cdot CdO$

$CdO + 2H^+ = Cd^{2+} + H_2O$

$CdO + PbS \xlongequal{\text{高温}} CdS + PbO$

【Cd_2O】　$Cd_2O + 2Ag^+ = Cd^{2+} + CdO + 2Ag\downarrow$

【$Cd(OH)_2$】　$Cd(OH)_2 \xlongequal{250℃} \underset{(\text{棕色})}{CdO} + H_2O$

$Cd(OH)_2 + CO_{2(\text{空气中})} = CdCO_3 + H_2O$

注： $Cd(OH)_2$具有两性，但酸性很弱。

$Cd(OH)_2 + 2NaOH_{(\text{浓})} \xlongequal{\text{煮沸}} Na_2[Cd(OH)_4]$

$Cd(OH)_2 + 2OH^- = [Cd(OH)_4]^{2-}$

$$Cd(OH)_2 + 4NH_3 = Cd(NH_3)_4^{2+} + 2OH^-$$

$$Cd(OH)_2 + 4NH_4OH = [Cd(NH_3)_4]^{2+} + 4H_2O + 2OH^-$$
（无色）

$$Cd(OH)_2 + 2H^+ = Cd^{2+} + 2H_2O$$

$$Cd(OH)_2 + 2HX = CdX_2 + 2H_2O$$
（X = Cl、Br、I）

$$Cd(OH)_2 + 2NaCN = Cd(CN)_2 + 2NaOH$$

$$Cd(CN)_2 + 2NaCN = Na_2Cd(CN)_4$$

【$CdCl_2$】 $CdCl_2 + 2NH_4OH = CdCl_2 \cdot 2NH_3 + 2H_2O$

$$CdCl_2 + 4NH_4OH = Cd(NH_3)_4Cl_2 + 4H_2O$$

$$Cd(NH_3)_4Cl_2 + 4KCN = K_2Cd(CN)_4 + 2KCl + 4NH_3$$

$$K_2Cd(CN)_4 + H_2S = CdS\downarrow + 2KCN + 2HCN$$

$$Cd(NH_3)_4Cl_2 + (NH_4)_2S = CdS\downarrow + 4NH_3 + 2NH_4Cl$$

$$CdCl_2 + H_2S + 2NH_4OH = CdS\downarrow + 2NH_4Cl + 2H_2O$$

$$CdCl_2 + H_2S + Na_2CO_3 = CdS\downarrow + 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CdCl_2 + NH_4Cl = CdCl_2 \cdot NH_4Cl$$

$$CdCl_2 + 2AgNO_2 = Cd(NO_2)_2 + 2AgCl$$

$$CdCl_2 + (NH_4)_2HPO_4 + H_2O = Cd(NH_4)PO_4 \cdot H_2O + HCl + NH_4Cl$$

$$CdCl_2 + Na_2CrO_4 = CdCrO_4\downarrow + 2NaCl$$

$$3CdCl_2 + 2Na_3C_6H_5O_7 = Cd_3(C_6H_5O_7)_2 + 6NaCl$$

【CdS】 $CdS + 2HCl_{(浓)} = CdCl_2 + H_2S\uparrow$
（CdS不溶于稀HCl）

$$3CdS + 8HNO_{3(稀)} \xlongequal{\triangle} 3Cd(NO_3)_2 + 2NO + 3S + 4H_2O$$

$$CdS + CuSO_4 = CdSO_4 + CuS\downarrow$$

（CuS的溶解度小于CdS）

【$CdSO_4$】 $$CdSO_4\cdot 8H_2O \underset{}{\overset{75℃}{\rightleftharpoons}} CdSO_4\cdot H_2O \overset{105℃}{\rightleftharpoons} CdSO_4$$

$$CdSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Cd$$

$$CdSO_4 + H_2O_2 = CdO_2 + H_2SO_4$$

$$CdSO_4 + H_2S = CdS\downarrow + H_2SO_4$$

（黄色）

$$CdSO_4 + 2NH_4F = CdF_2 + (NH_4)_2SO_4$$

$$2CdSO_4 + Li_4Fe(CN)_6 = Cd_2Fe(CN)_6\downarrow + 2Li_2SO_4$$

（白色）

$$CdSO_4 + Na_2SO_3 = CdSO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$CdSO_4 + (NH_4)_2SO_4 = CdSO_4\cdot(NH_4)_2SO_4\downarrow$$

注：$CdSO_4$与碱金属硫酸盐（M_2SO_4）形成复盐：

$$CdSO_4 + M_2SO_4 + 6H_2O = M_2SO_4\cdot CdSO_4\cdot 6H_2O$$

（M代表碱金属）

$$CdSO_4 + Pb(NO_3)_2 = Cd(NO_3)_2 + PbSO_4\downarrow$$

$$2CdSO_4 + 2Na_2CO_3 + H_2O = Cd_2(OH)_2CO_3\downarrow + 2Na_2SO_4 + CO_2\uparrow$$

（白色）

$$CdSO_{4(冷液)} + (NH_4)_2CO_{3(过量)} = CdCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

【$Cd(NO_3)_2$】 $$Cd(NO_3)_2 + H_2SO_4 = CdSO_4 + 2HNO_3$$

$$Cd(NO_3)_2 + 2KHCO_3 = CdCO_3 + 2KNO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$6Cd(NO_3)_2 + 5K_2CO_3 + 2H_2O = (CdCO_3)_5\cdot Cd(OH)_2\downarrow + 10KNO_3 + 2HNO_3$$

$$11Cd(NO_3)_2 + 10K_2CO_3 + 2H_2O = (CdCO_3)_{10} \cdot Cd(OH)_2\downarrow + 20KNO_3 + 2HNO_3$$

$$Cd(NO_3)_2 + K_2CrO_4 = CdCrO_4 + 2KNO_3$$

【$CdCO_3$】 $$CdCO_3 + S^{2-} = CdS\downarrow + CO_3^{2-}$$

$$CdCO_3 + H_2SO_{4(稀)} = CdSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

【Cd^{2+}】 $$Cd^{2+} + Zn = Zn^{2+} + Cd$$

$$Cd^{2+} + 2OH^- = Cd(OH)_2\downarrow$$

$$Cd^{2+} + H_2S = CdS\downarrow + 2H^+$$

$$Cd^{2+} + S^{2-} \rightleftharpoons CdS\downarrow$$

$$Cd^{2+} + 2CN^- \rightleftharpoons \underset{(白色)}{Cd(CN)_2\downarrow}$$

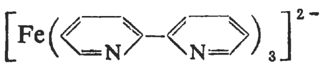
$$Cd(CN)_2 + 2CN^-_{(过量)} = \underset{(不稳定)}{[Cd(CN)_4]^{2-}}$$

$$[Cd(CN)_4]^{2-} \rightleftharpoons 2CN^- + Cd(CN)_2 \rightleftharpoons Cd^{2+} + 4CN^-$$

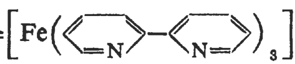
$$[Cd(CN)_4]^{2-} + H_2S = CdS\downarrow + 2HCN + 2CN^-$$

$$Cd^{2+} + 2ClO_4^- = Cd(ClO_4)_2\downarrow$$

$$2Cd^{2+} + [Fe(CN)_6]^{4-} \rightleftharpoons \underset{(白色)}{Cd_2[Fe(CN)_6]\downarrow}$$

$Cd^{2+} + 4I^- +$ 

(联吡啶亚铁)

$\rightleftharpoons$  $\cdot [CdI_4]\downarrow$

(红色，四碘合镉联吡啶亚铁)

7.3 汞 $5d^{10}6s^2$ Hg＝200.59

【Hg】 $$Hg + X_2 = HgX_2$$

(X代表卤素元素)

$$2Hg + Cl_2 = Hg_2Cl_2$$

$$2Hg + O_2 \xlongequal{\triangle} 2HgO$$

$$2Hg + 2HCl + O_2 = Hg_2Cl_2 + H_2O_2$$

$$2Hg + 2HCl + H_2O_2 = Hg_2Cl_2 + 2H_2O$$

$$Hg + 4HI = H_2[HgI_4] + H_2\uparrow$$

$$3Hg + 4HI_{(液体)} = 2HgI + HgI_2 + 2H_2\uparrow$$

$$2Hg + 2HBr_{(气)} \xlongequal{低温、真空} 2HgBr + H_2\uparrow$$

$$Hg + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} HgSO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2Hg + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} Hg_2SO_4 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

（Hg和稀HCl、稀H_2SO_4都不起反应）

$$2Hg + 2HNO_2 + H_2SO_4 = Hg_2SO_4 + 2NO\uparrow + 2H_2O$$

$$Hg + 4HNO_{3(浓)} = Hg(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3Hg + 8HNO_{3(过量、稀、热)} \xlongequal{\triangle} 3Hg(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$6Hg + 8HNO_{3(冷、稀)} = 3Hg_2(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$6Hg + 2HNO_3 + 3H_2SO_4 = 3Hg_2SO_4 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$3Hg + 8HNO_3 = 3Hg(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2C_2H_5OH + 4HNO_3 = Hg(ONC)_2 + 2CO_2\uparrow + 2NO_2 + 2NO + 8H_2O$$

（雷汞）

$$2Hg + 2FeCl_3 \xlongequal{加HCl} 2FeCl_2 + Hg_2Cl_2$$

$$2Hg + Fe_2(SO_4)_3 = 2FeSO_4 + Hg_2SO_4$$

$$2Hg + 2CuSO_{4(溶液)} + 4HCl$$

$$\xlongequal{\text{振动}} Cu_2Cl_2 + Hg_2Cl_2\downarrow + 2H_2SO_4$$

$$2Hg + 4NaNO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} 2Na_2SO_4 + HgSO_4$$
$$+ Hg(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + SO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$6Hg + K_2Cr_2O_7 + 14HCl = 3Hg_2Cl_2 + 2KCl$$
$$+ 2CrCl_3 + 7H_2O$$

$$3Hg + 2KMnO_4 + H_2O = 2KOH + 2MnO_2 + 3HgO$$

【HgO】 $$2HgO \xlongequal{\text{加热至}500℃} 2Hg + O_2\uparrow$$

$$HgO + H_2O \rightleftharpoons Hg^{2+} + 2OH^-$$
（HgO难溶于水，故反应微弱）

$$2HgO + NH_4OH = NHg_2OH\cdot 2H_2O$$

$$HgO + 2HCl = HgCl_2 + H_2O$$

$$3HgO_{(\text{过量})} + 2HCl(0.15N) \rightleftharpoons (HgO)_2\cdot HgCl_2$$
$$+ H_2O$$

$$HgO + H_2SO_4 = HgSO_4 + H_2O$$

$$HgO + 2HNO_{3(\text{稀})} = Hg(NO_3)_2 + H_2O$$

$$HgO + 2\,HCOOH \xlongequal{\text{加}H^+} (HCOO)_2Hg + H_2O$$

$$(HCOO)_2Hg = HCOOH + CO_2 + Hg$$

$$HgO + 2HC_2H_3O_2 = Hg(C_2H_3O_2)_2 + H_2O$$
（反应在苯、乙醚、冰醋酸混合液中进行）

$$Hg(C_2H_3O_2)_2 + H_2S_{(\text{气})} = 2HC_2H_3O_2$$
$$+ HgS\downarrow$$

$$2Hg(C_2H_3O_2)_2 + \underset{(\text{雷芹粉})}{C_{10}H_{14}O_2} =$$
$$\underset{(\text{白色})}{C_{14}H_{18}O_5Hg_2}\downarrow + 2HC_2H_3O_2$$
（反应在冰醋酸的醇溶液中进行）

$$HgO + 2KCl_{(饱和)} + H_2O \xlongequal{常温} 2KOH + HgCl_2$$

$$HgO + 2NH_4Br \xlongequal{常温} HgBr_2 + 2NH_3 + H_2O$$

$$HgO + 2Na_2S_2O_3 + H_2O \xlongequal{} Na_2Hg(S_2O_3)_2 + 2NaOH$$

注：Hg无氢氧化物。

【HgF】 $2HgF \xlongequal{在Cl_2气中加热275℃} HgF_2 + Hg\downarrow$

【Hg_2Cl_2】 $Hg_2Cl_2 \underset{}{\overset{光}{\rightleftharpoons}} HgCl_2 + Hg$

即 $Hg_2^{2+} \rightleftharpoons Hg^{2+} + Hg$

$$Hg_2Cl_2 + Cl_2 \xlongequal{} 2HgCl_2$$

$$Hg_2Cl_2 + 2NH_3 \xlongequal{} Hg_2(NH_2)Cl + NH_4Cl$$

$$Hg_2(NH_2)Cl \xlongequal{} Hg(NH_2)Cl + Hg\downarrow \text{（歧化反应）}$$

总式： $Hg_2Cl_2 + 2NH_3 \xlongequal{} Hg(NH_2)Cl + Hg\downarrow + NH_4Cl$

$$Hg_2Cl_2 + 2NH_3 \cdot H_2O \xlongequal{} \underset{(白色)}{Hg(NH_2)Cl\downarrow} + \underset{(黑色)}{Hg\downarrow} + NH_4Cl + 2H_2O$$

$$3[HgNH_2Cl + Hg] + 14HNO_3 \xlongequal{} 6Hg(NO_3)_2 + 2NO + 3NH_4Cl + 4H_2O$$

$$Hg_2^{2+} + 2NH_3 + Cl^- \xlongequal{} Hg + HgNH_2Cl + NH_4^+$$

$$2HgNH_2Cl + 2NO_3^- + 4H^+ \xlongequal{} 2Hg^{2+} + 2NO + N_2 + 2Cl^- + 4H_2O$$

$$3Hg_2^{2+} + 2NO_3^- + 8H^+_{(热)} \xlongequal{} 6Hg^{2+} + 2NO + 4H_2O$$

$$Hg_2Cl_2 + SnCl_2 \xlongequal{} 2Hg + SnCl_4$$

$$Hg_2Cl_2 + 2Cl^-_{(过量)} \rightleftharpoons [HgCl_4]^{2-} + Hg\downarrow$$

$$Hg_2Cl_2 + SnCl_2 + 2HCl \xlongequal{} 2Hg + H_2SnCl_6$$

$$2HgCl + 6KI + I_2 = 2K_2HgI_4 + 2KCl$$

$$Hg_2Cl_2 + 2HCOONa = 2Hg\downarrow + CO\uparrow + CO_2\uparrow + 2NaCl + H_2O$$

注：Hg_2Cl_2 不溶于水、HCl 和冷稀 HNO_3，可溶于热稀 HNO_3及王水中。

【$HgCl_2$】 $HgCl_2 + Hg \xlongequal{研磨} Hg_2Cl_2$

$$Hg^{2+} + Cu = Hg + Cu^{2+}$$

$$HgCl_2 + H_2O = Hg(OH)Cl + H^+ + Cl^-$$

注：当 $HgCl_2$的水溶液暴露在空气中，发生以下反应：

$$2HgCl_2 + H_2O = Hg_2Cl_2 + 2HCl + [O] \text{（很慢）}$$

$$2HgCl_2\text{（过量）} + SO_2\text{（适量）} + 2H_2O = Hg_2Cl_2\downarrow + 2HCl + H_2SO_4$$

$$HgCl_2 + 2NH_3 = Hg(NH_2)Cl + NH_4Cl$$

$$2Hg(NH_2)Cl + H_2O = Hg_2NCl\cdot H_2O\downarrow + NH_4Cl$$

$$6Hg(NH_2)Cl \xlongequal{\triangle} 3Hg_2Cl_2 + 4NH_3 + N_2\uparrow$$

$$HgCl_2 + 2NH_3\cdot H_2O = \underset{\text{（白色）}}{Hg(NH_2)Cl\downarrow} + NH_4Cl + 2H_2O$$

$$HgCl_2 + 2NaOH\text{（过量）} \xlongequal{煮沸} HgO\downarrow + 2NaCl + H_2O$$

$$Hg^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Hg(OH)_2 \rightleftharpoons HgO\downarrow + H_2O$$

$$HgCl_2 + H_2O_2 + 2NaOH = 2NaCl + Hg + O_2 + 2H_2O$$

（HgBr有类似的反应）

注：$HgCl_2$与NaOH和甘油的作用如下：

$$HgCl_2 + 2NaOH = 2NaCl + HgO + H_2O$$

$$HgO + C_3H_5(OH)_3 = C_3H_6O_3 + Hg\downarrow + H_2O$$

$$HgCl_2 + HCl_{(过量)} = HHgCl_3 \text{（络合反应）}$$

$$HgCl_2 + 2HCN = Hg(CN)_2 + 2HCl$$

$$HgCl + H_2S \xlongequal{室温} \underset{(黑色)}{HgS\downarrow} + 2HCl$$

$$HgCl_2 + H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} \underset{(白色)}{HgSO_4 \cdot HCl\downarrow} + HCl$$

$$2HgCl_2 + SnCl_2 + 2HCl = Hg_2Cl_2\downarrow + H_2SnCl_6$$

$$2HgCl_2 + SnCl_{2(足量)} = Hg_2Cl_2\downarrow + SnCl_4$$

$$Hg_2Cl_2 + SnCl_{2(过量)} + 2HCl = H_2SnCl_6 + 2Hg\downarrow$$

总式：$$HgCl_2 + SnCl_{2(过量)} = SnCl_4 + Hg\downarrow$$

$$HgCl_2 + 2Cl^- \rightleftharpoons [HgCl_4]^{2-}$$

$$HgCl_2 + NH_4Cl_{(过量)} = NH_4HgCl_3 \text{（络合反应）}$$

$$2Hg^{2+}_{(过量)} + 2Cl^- + 2OH^-_{(少量)} \rightleftharpoons HgO \cdot HgCl_2 + H_2O$$

$$HgCl_{2(干燥)} + 2\ KI_{(干燥)} \xlongequal{共研磨} HgI_2 + 2KCl$$

$$Hg^{2+} + 2Cu_2I_2 \rightleftharpoons \underset{(红色或橙色)}{Cu_2[HgI_4]} + 2Cu^+$$

$$HgCl_2 + 2I^- = HgI_2\downarrow + 2Cl^-$$

$$HgCl_2 + 2KCN_{(适量)} = Hg(CN)_2 + 2KCl$$

$$Hg^{2+} + 4CN^-_{(过量)} = [Hg(CN)_4]^{2-}$$

$$HgCl_2 + Hg(CN)_2 \xlongequal{\triangle} Hg_2Cl_2 + C_2N_{2(或生成(CN)_2)}$$

$$HgCl_2 + 4KSCN = K_2Hg(SCN)_4 + 2KCl$$

$$HgCl_{2(稀)} + 2Na_2SO_3 \xlongequal{加乙醇} HgNa_2(SO_3)_2\downarrow + 2NaCl$$

$$HgCl_2 + 2AgNO_2 = 2AgCl\downarrow + Hg(NO_2)_2$$

$$4HgCl_2 + NaH_2PO_2 + 2H_2O \xlongequal{冷} 2Hg_2Cl_2 + H_3PO_4 + 3HCl + NaCl$$

$$2HgCl_2 + NaH_2PO_2 + 2H_2O \xlongequal{\triangle} H_3PO_4 + NaCl + 3HCl + 2Hg$$

$$4Hg^{2+} + 4CO_3^{2-} \xrightleftharpoons{冷时} \underset{(红棕色)}{HgCO_3 \cdot 3HgO} + 3CO_2$$

$$HgCO_3 \cdot 3HgO \xlongequal{煮沸} 4HgO\downarrow + CO_2$$

$$HgCl_2 + (NH_2)_2CS + 2NaOH \xlongequal{\triangle} HgS\downarrow + 2NaCl + NH_4OCN + H_2O$$

$$2HgCl_2 + HCOOH = Hg_2Cl_2\downarrow + 2HCl + CO_2\uparrow$$

$$2HgCl_2 + HCOONa = Hg_2Cl_2 + NaCl + HCl + CO_2$$

$$HgCl_{2(固)} + 2CH_3MgI = (CH_3)_2Hg + 2Mg\begin{matrix}Cl\\I\end{matrix}$$

$$2HgCl_2 + H_2C_2O_4 \xlongequal{空气中} Hg_2Cl_2 + 2HCl + 2CO_2\uparrow$$

$$2HgCl_2 + Na_2C_2O_4 = Hg_2Cl_2 + 2NaCl + 2CO_2$$

$$HgCl_2\,(饱和) + \underset{(盐酸桂酰麻黄碱)}{2C_{19}H_{24}ONCl} = \underset{(白色)}{(C_{19}H_{24}ON)_2HgCl_4}\downarrow$$

$$HgCl_2 + \underset{(吡啶)}{2C_5H_5N} + (NH_4)_2Cr_2O_7 = \underset{(黄色)}{Hg(C_5H_5N)_2Cr_2O_7}\downarrow + 2NH_4Cl$$

【$HgBr_2$】 $HgBr_2 + 10KBr = HgBr_2 \cdot 10KBr$

$$HgBr_2 + 2HBr + \underset{(喹啉)}{C_{20}H_{24}O_2N_2} =$$

$$C_{20}H_{26}O_2N_2HgBr_4\downarrow$$

$$HgBr_2 + 2HBr + C_{19}H_{22}ON_2 + H_2O = C_{19}H_{24}ON_2HgBr_4 \cdot H_2O\downarrow$$
（结晶）

【Hg_2I_2】 $Hg_2I_2 \rightleftharpoons HgI_2 + Hg\downarrow$

$Hg_2^{2+} + 2I^- \rightleftharpoons Hg_2I_2\downarrow$（绿色）

$Hg_2I_2 + 2I^-$（过量）$= [HgI_4]^{2-} + Hg\downarrow$

【HgI_2】 $HgI_2 \overset{126℃}{\rightleftharpoons} HgI_2$

（红色） （黄色）

Hg^{2+}（盐）$+ 2NaX \longrightarrow HgX_2\downarrow + 2Na^+$

（制取$HgCl_2$、$HgBr_2$、HgI_2）

$HgX_2 + MX = M[HgX_3]$（或$M_2[HgX_4]$）

$HgI_2 + 2I^- = [HgI_4]^{2-}$（稳定的络合物）

$$2HgI_4^{2-} + NH_4^+ + 4OH^- = \left[O\langle{}^{Hg}_{Hg}\rangle NH_2\right]I\downarrow + 3H_2O + 7I^-$$
（红棕色）

或 $$2[HgI_4]^{2-} + NH_3 + 3OH^- = \left[O\langle{}^{Hg}_{Hg}\rangle NH_2\right]I + 7I^- + 2H_2O$$

$$HgI_2 + 2AgNO_3 \xlongequal{加H^+} Hg(NO_3)_2 + 2AgI\downarrow$$

$$HgI_2 + HCHO + 3NaOH \xlongequal{加明胶} HCOONa + 2NaI + Hg\downarrow + 2H_2O$$

【HgCN】 $2HgCN = Hg(CN)_2 + Hg\downarrow$

【$Hg(CN)_2$】 $Hg(CN)_2 \xlongequal{\triangle} Hg + (CN)_2$

$Hg(CN)_2$（细粒）$+ 2KOH$（浓）$= HgO + 2KCN + H_2O$

$$Hg(CN)_2 + H_2S = HgS + 2HCN$$

$$Hg(CN)_{2(热)} + HNO_{3(68\%)} = Hg(CN)_2 \cdot HNO_3 \downarrow$$
（冷却后得沉淀）

$$2Hg(CN)_2 + SnCl_2 + 4HCl = 2HgCl + 4HCN + SnCl_4$$

$$Hg(CN)_2 + 2HCl + SnCl_2 = 2HCN + Hg\downarrow + SnCl_4$$

$$Hg(CN)_2 + 2NaCl = 2NaCN + HgCl_2$$

$$Hg(CN)_2 + 4KI = K_2HgI_4 + 2KCN$$
（反应较难进行）

$$Hg(CN)_2 + 2KCN_{(过量)} \rightleftharpoons K_2[Hg(CN)_4] \quad (或[Hg(CN)_3])$$

$$4Hg(CN)_2 + 8Na_2S_2O_3 + Na_2O = 3Hg(SCN)_2 + HgS + 7Na_2SO_3 + Na_2SO_4 + NaSCN + NaCN$$

$$Hg(CN)_2 + 2BaS_2O_{3(糊状)} + H_2O = HgS + HCN + BaSO_4 + BaSO_3 + HSCN$$

$$Hg(CN)_2 + HCHO + 3KOH = HCOOK + 2KCN + Hg\downarrow + 2H_2O$$

【$Hg(OCN)_2$】 $Hg(OCN)_2 \xrightarrow{\triangle} Hg + 2CO + N_2 + 118$千卡
（雷汞）　（雷汞爆炸反应）

$$Hg(OCN)_2 + 2H_2S = NH_4SCN + HgS\downarrow + CO_2$$

$$3Hg(OCN)_2 + 2KClO_3 = 2KCl + 3Hg + 3N_2 + 6CO_2$$

$$Hg(OCN)_2 + 2Na_2S_2O_3 + 2H_2O = 2Na_2SO_4 + NH_4SCN + HgS\downarrow + CO_2\uparrow$$

【$Hg(CNS)_2$】 $2Hg(CNS)_2 \xrightarrow{\triangle} 2HgS + CS_2 + C_3N_4$

【HgS】 $HgS + O_2 \xrightarrow{\triangle} Hg + SO_2\uparrow$（主要反应）

$$2HgS + 3O_2 \xrightarrow{\triangle} 2HgO + 2SO_2\uparrow$$

$$5HgS + 8HNO_{3(浓)} \xrightarrow{长期煮沸} 3Hg(NO_3)_2 \cdot 2HgS + 3S + 2NO + 4H_2O$$

$$3HgS + 2HNO_{3(浓)} + 6HCl_{(浓)} \rightleftharpoons 3HgCl_2 + 2NO\uparrow + 3S\downarrow + 4H_2O$$

$$3MS + 6HCl + 2HNO_3 \xrightarrow{\triangle} 3MCl_2 + 2NO + 3S\downarrow + 4H_2O$$

（MS 表示不溶于水的金属硫化物）

$$HgS + 4KI + 2HCl = K_2[HgI_4] + 2KCl + H_2S\uparrow$$

$$HgS + KSH + KOH = Hg(SK)_{2(可溶)} + H_2O$$

$$HgS_{(固)} + Na_2S_{(浓液)} = Na_2[HgS_2]（在过量OH^-存在下）$$

（硫代汞酸钠）

$$Na_2[HgS_2] + 2HCl = HgS\downarrow + 2NaCl + H_2S\uparrow$$

$$[HgS_2]^{2-} + 2H^+ = HgS\downarrow + H_2S\uparrow$$

$$3HgS + KClO_3 + 12HCl = 3HgCl_4^{2-} + KCl + 6H^+ + 3S\downarrow + 3H_2O$$

【$Hg(ClO_4)_2$】 $Hg(ClO_4)_2 + Hg \xrightarrow{（剧烈振动）} 2HgClO_4$

$$Hg(ClO_4)_2 + H_2O = Hg(OH)ClO_4 + HClO_4$$

$$2Hg(ClO_4)_2 + H_2S = HgSHg(ClO_4)_2 + 2HClO_4$$

$$HgSHg(ClO_4)_2 + H_2S = 2HgS\downarrow + 2HClO_4$$

【$Hg(BrO_3)_2$】 $Hg(BrO_3)_2 + H_2O \xrightarrow{在高浓HClO_4中} Hg(OH)BrO_3 + HBrO_3$

（溴酸羟基汞）

【$HgSO_4$】 $HgSO_4 \xrightarrow{红热} Hg + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$$HgSO_4 + Zn = ZnSO_4 + Hg\downarrow$$

$$HgSO_4 + Fe = FeSO_4 + Hg\downarrow$$

$$HgSO_4 + Cu = CuSO_4 + Hg\downarrow$$

$$HgSO_4 + Hg + 2NaCl \xlongequal{\triangle} Hg_2Cl_2 + Na_2SO_4$$

$$3HgSO_4 + 2H_2O \underset{\text{振摇数日}}{\overset{25^\circ C}{\rightleftharpoons}} 2H_2SO_4 + (HgO)_3 \cdot SO_3$$

$$(HgO)_3 \cdot SO_3 + H_2O \xlongequal[\text{振摇数日}]{25^\circ C} 3HgO\downarrow + H_2SO_4$$

总式：

$$3HgSO_4 + 3H_2O = 3H_2SO_4 + 3HgO\downarrow$$

$$HgSO_4 + HCl \xlongequal{\text{慢慢加热}} \underset{\text{(白色)}}{HgSO_4 \cdot HCl}$$

$$HgSO_{4(\text{固})} + 2NaCl_{(\text{固})} \xlongequal{\triangle} Na_2SO_4 + HgCl_2$$

$$HgSO_4 + 2NaSCN + 2H_2O = HgS + Na_2SO_4 + NH_4SCN + CO_2$$

【$Hg_2(NO_3)_2$】 $Hg_2(NO_3)_2 \xlongequal{\triangle} 2HgO + 2NO_2\uparrow$

注：在电位顺序表中，Hg 以前的金属能将亚汞盐中的汞沉淀出来。

$$Hg_2^{2+} + Zn = 2Hg\downarrow + Zn^{2+}$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + Cu = Cu(NO_3)_2 + 2Hg\downarrow$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + H_2O \rightleftharpoons Hg_2(OH)NO_3 + H^+ + NO_3^-$$

（加 HNO_3 可抑制水解）

$$2Hg_2(NO_3)_2 + 4NH_3 \cdot H_2O = 3NH_4NO_3 + HgO \cdot Hg(NH_2)NO_3 + 2Hg + 3H_2O$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2NH_3 = HgNH_2NO_3\downarrow + Hg\downarrow + NH_4NO_3$$

$$HgNH_2NO_3 + H_2O = HgO + NH_4^+ + NO_3^-$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2NaOH = Hg_2O\downarrow + 2NaNO_3 + H_2O$$

$$Hg_2^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Hg_2(OH)_2 \rightleftharpoons Hg_2O\downarrow + H_2O$$

（黑色）

（Hg_2O不溶于水及碱，但溶于HNO_3。Hg_2O易分解为HgO及Hg）

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2HCl = Hg_2Cl_2\downarrow + 2HNO_3$$

（白色）

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2HCN = 2HgCN + 2HNO_3$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + H_2S = Hg_2S\downarrow + 2HNO_3$$

$$Hg_2S = HgS\downarrow + Hg\downarrow$$

总式：$Hg_2(NO_3)_2 + H_2S = HgS\downarrow + Hg\downarrow + 2HNO_3$

（黑色）

$$Hg_2(NO_3)_2 + H_2SO_{4(稀)} = Hg_2SO_4\downarrow + 2HNO_3$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + SnCl_2 = Hg_2Cl_2 + Sn(NO_3)_2$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + SnCl_2 + 2HCl = SnCl_4 + 2HNO_3 + 2Hg\downarrow$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2KI = Hg_2I_2\downarrow + 2KNO_3$$

（淡绿色）

（加KCl、KBr有类似的反应）

$$Hg_2^{2+} + 2I^- = Hg_2I_2\downarrow$$

（绿色）

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2KCN = 2KNO_3 + Hg(CN)_2 + Hg\downarrow$$

$$Hg_2(NO_3)_2 + (NH_4)_2S = Hg_2S\downarrow + 2NH_4NO_3$$

（Hg_2S不溶于水、HNO_3、碱金属氢氧化物及硫化铵。但溶于王水及碱金属多硫化物中）

$$Hg_2(NO_3)_2 + K_2CO_3 = Hg_2CO_3\downarrow + 2KNO_3$$

（黄色）

$$Hg_2CO_3 = HgO\downarrow + Hg\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$Hg_2^{2+} + CrO_4^{2-} \rightleftharpoons Hg_2CrO_4$$

（棕红色）

$$Hg^{+} + O=C\begin{matrix} NHNHC_6H_5 \\ NHNHC_6H_5 \end{matrix} \rightleftharpoons O=C\begin{matrix} NHNHgC_6H_5 \\ NHNHC_6H_5 \end{matrix} + H^{+}$$

（二苯卡巴肼）　　　　（蓝色络合物）

【$Hg(NO_3)_2$】　$2Hg(NO_3)_2 \xlongequal{\text{慢慢加热}} 4NO_2 + 2HgO + O_2\uparrow$

$$2HgO \xlongequal{\triangle} 2Hg + O_2\uparrow$$

$$Hg(NO_3)_2 + Zn = Zn(NO_3)_2 + Hg\downarrow$$

（Sn、Pb等均可发生类似的反应）

$$Hg(NO_3)_2 + Cu = Cu(NO_3)_2 + Hg\downarrow$$

（使铜片产生灰色斑点）

$$Hg(NO_3)_2 + Hg \xrightleftharpoons{\text{摇动}} Hg_2(NO_3)_2$$

$$Hg(NO_3)_2 + H_2O = Hg(OH)NO_3\downarrow + H^{+} + NO_3^{-}$$

$$2Hg(NO_3)_2 + 2H_2O \rightleftharpoons Hg_2O(OH)NO_3\downarrow + 3HNO_3$$

（所以配制$Hg(NO_3)_2$溶液时，应加HNO_3防止水解产生沉淀）

$$2Hg(NO_3)_2 + 4NH_4OH = \left[O\begin{matrix} Hg \\ Hg \end{matrix}NH_2\right]NO_3\downarrow + 3NH_4NO_3 + 3H_2O$$

（沉淀溶解于过量的氨水和NH_4Cl中）

$$Hg(NO_3)_2 + 2NaOH = 2NaNO_3 + HgO\downarrow + H_2O$$

$$3Hg(NO_3)_2 + 2Al(OH)_3 = 3HgO\downarrow + 2Al(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$Hg(NO_3)_2 + Zn(OH)_2 = Zn(NO_3)_2 + HgO\downarrow + H_2O$$

$$3Hg(NO_3)_2 + 2Bi(OH)_3 = 3HgO + 2Bi(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2HCN = Hg(CN)_2 + 2HNO_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + H_2S = HgS\downarrow + 2HNO_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2HClO_{4\,(70\%,\ \text{过量})} = Hg(ClO_4)_2 + 2HNO_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2KI = HgI_2\downarrow + 2KNO_3$$
（桔红色）

$$HgI_2 + 2KI(过量) = K_2[HgI_4]$$

$$K_2[HgI_4] + Cu(NH_2CH_2CH_2NH_2)_2SO_4$$
（硫酸乙二胺铜）

$$= Cu(NH_2CH_2CH_2NH_2)_2HgI_4\downarrow + K_2SO_4$$
（黑蓝紫色）

$$Hg(NO_3)_2 + 4KCN = K_2[Hg(CN)_4] + 2KNO_3$$

$$3Hg^{2+} + 2Cl^- + 2S^{2-}(少量) = HgCl_2\cdot 2HgS\downarrow$$

$$HgCl_2\cdot 2HgS + S^{2-} = 3HgS\downarrow + 2Cl^-$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2KSCN = Hg(SCN)_2\downarrow + 2KNO_3$$

$$Hg(SCN)_2 + 2KSCN(过量) = K_2[Hg(SCN)_4]$$

$$2Hg(SCN)_2 \xlongequal{点燃} 2HgS + CS_2 + C_3N_4$$

$$Hg^{2+} + 4SCN^- \rightleftharpoons [Hg(SCN)_4]^{2-}$$

$$2Hg(NO_3)_2 + 4NaCl + H_3PO_2 + H_2O_2 = Hg_2Cl_2\downarrow$$
（次磷酸）

$$+ 4NaNO_3 + H_3PO_4 + 2HCl$$

$$6Hg(NO_3)_2 + 12NaCl + 6FeSO_4 = 3Hg_2Cl_2\downarrow$$

$$+ 12NaNO_3 + 2FeCl_3 + 2Fe_2(SO_4)_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2KBrO_3 = Hg(BrO_3)_2 + 2KNO_3$$
（在HNO_3存在下进行反应）

$$2Hg(NO_3)_2 + Na_2SO_4 + H_2O = HgSO_4\cdot HgO\downarrow$$
（黄色）

$$+ 2HNO_3 + 2NaNO_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + 6NaNO_2 + 2NaBrO_3 =$$

$$8NaNO_3 + HgBr_2\downarrow$$
（在HNO_3存在下进行反应）

$$3Hg(NO_3)_2 + 2NaH_2PO_4 = Hg_3(PO_4)_2\downarrow$$
（白）

$$+ 2NaNO_3 + 4HNO_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + 2K_2CrO_4 + H_2SO_4 = HgCr_2O_7\downarrow + K_2SO_4 + H_2O + 2KNO_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + 4NH_4SCN + \underset{\text{(夹氮蒽)}}{2C_{13}H_9N} = 2NH_4NO_3 + \underset{\text{(结晶)}}{[Hg(SCN)_4]H_2\cdot[(C_{13}H_9N)_2]} + 2NH_3$$

$$Hg(NO_3)_2 + \underset{\text{(邻氨基苯甲酸)}}{2C_7H_7O_2N} = Hg(C_7H_6O_2N)_2\downarrow + 2HNO_3$$

$$3Hg^{2+} + \underset{\text{(二苯卡巴肼)}}{2O=C\left\langle\begin{matrix}NHNHC_6H_5\\NHNHC_6H_5\end{matrix}\right.} = \underset{\text{(蓝色或淡蓝紫色)}}{\left[O=C\left\langle\begin{matrix}NHNHgC_6H_5\\NHNHC_6H_5\end{matrix}\right.\right]_2Hg}\downarrow + 2H^+$$

【Hg_2CO_3】　$Hg_2CO_3 \xlongequal{\triangle} HgO + Hg + CO_2\uparrow$

【$HgCrO_4$】　$4HgCrO_4 \xlongequal{\triangle} 2Cr_2O_3 + 4Hg + 5O_2\uparrow$

$$3HgCrO_4 + 2H_2O \xlongequal{50℃} (HgO)_3CrO_3 + 2CrO_3\cdot H_2O$$

$$(HgO)_3\cdot CrO_3 + H_2O = 3HgO\downarrow + CrO_3\cdot H_2O$$

$$2Hg^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2HgCrO_4\downarrow + 2H^+$$

【$Hg(CH_3COS)_2$】　$3Hg(CH_3COS)_2 + 2HNO_{3(冷、浓)} + 2H_2O = (HgS)_2\cdot Hg(NO_3)_2 + 2CH_3COOH + 4CH_3COSH$

第八章　钪 分 族

8. 1　钒　$3d^{1}4s^{2}$　Sc = 44.9559

钪是第一稀土系(包括钪、钇、镧及镧系中15个元素)中的代表元素，对于稀土元素的单质应用较少，因为它们的化学性质较活泼，如它们在空气中很快被氧化，能与水作用放出H_2，易与酸作用，是强还原剂，所以，不论是它们的存在及应用，都是以化合物形式出现。

【Sc_2O_3】

$$Sc_2O_3 + 6HCl + 9H_2O = 2[ScCl_3 \cdot 6H_2O]$$

$$Sc_2O_3 + 3H_2SO_{4(浓)} = \underset{(白色)}{Sc_2(SO_4)_3\downarrow} + 3H_2O$$

$$Sc_2O_3 + 6HNO_3 = 2Sc(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$Sc_2O_3 + 2H_3BO_{3(过量)} \xlongequal{熔化} 2ScBO_3 + 3H_2O$$

$$2Sc_2O_3 + 3CCl_4 \xlongequal{750—800℃} 4ScCl_3 + 3CO_2\uparrow$$

【$Sc(OH)_3$】

$$2Sc(OH)_3 \xlongequal{\triangle} Sc_2O_3 + 3H_2O$$

$$2Sc(OH)_3 + 6HBr + 6H_2O = 2[ScBr_3 \cdot 6H_2O]$$

$$2Sc(OH)_3 + 3H_2SO_4 = Sc_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$$

$$Sc(OH)_3 + 3HNO_3 + H_2O = Sc(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$$

【$ScCl_3$】

$$2ScCl_3 + 3H_2O \xlongequal{\triangle} ScCl_3 \cdot Sc(OH)_3 + 3HCl$$

$$ScCl_3 + 3KOH = \underset{(白色)}{Sc(OH)_3\downarrow} + 3KCl$$

$$2ScCl_3 + 6NaOH \xlongequal{100℃} Sc_2O_3 \cdot 3H_2O\downarrow + 6NaCl$$
（白色）

$$ScCl_3 + 3NH_4OH = Sc(OH)_3 + 3NH_4Cl$$
（白色）

$$ScCl_3 + 3HF = ScF_3\downarrow + 3HCl$$
（沉淀不溶于稀HCl，可溶于过量的碱金属氟化物中）

$$2ScCl_3 + 3H_2C_2O_4 = Sc_2(C_2O_4)_3\downarrow + 6HCl$$

$$2ScCl_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O = 2Sc(OH)_3\downarrow + 6NH_4Cl + 3H_2S$$
（白色）

$$2ScCl_3 + 4(NH_4)_2SO_4(\text{过量}) \xlongequal{\text{蒸发}} Sc_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 + 6NH_4Cl$$

$$2ScCl_3 + 3Na_2S_2O_3 = Sc_2(S_2O_3)_3\downarrow + 6NaCl$$

$$ScCl_3 + Na_2HPO_4 = ScPO_4\downarrow + 2NaCl + HCl$$

$$2ScCl_3 + 3Na_2HPO_4 = Sc_2(HPO_4)_3\downarrow + 6NaCl$$

$$2ScCl_3 + 3Na_2CO_3 = Sc_2(CO_3)_3\downarrow + 6NaCl$$
（白色）

【$Sc_2(SO_4)_3$】 $2Sc_2(SO_4)_3 \xlongequal{\text{灼烧}} 2Sc_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

$$Sc_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightleftharpoons Sc_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$$

$$Sc_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_4 \rightleftharpoons 2ScH_3(SO_4)_3\downarrow$$
（白色结晶）

$$Sc_2(SO_4)_3 + 3K_2SO_4 = 2ScK_3(SO_4)_3$$

【$Sc(NO_3)_3$】 $4Sc(NO_3)_3 \xlongequal{\triangle} 2Sc_2O_3 + 12NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$

$$Sc(NO_3)_3 \cdot 4H_2O \xlongequal{\text{水浴上加热}} Sc(NO_3)_3 + 4H_2O$$

$$Sc(NO_3)_3 + H_2O = ScOH(NO_3)_2 + HNO_3$$
（在100℃真空情况加热16小时）

$$2ScOH(NO_3)_2 \xlongequal{\triangle} Sc_2O(NO_3)_4 + H_2O$$

$$2Sc(NO_3)_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} Sc_2(SO_4)_3 + 6HNO_3$$

(水浴上蒸发得四边形结晶$Sc_2(SO_4)_3$)

$$2Sc(NO_3)_3 + 3Na_2CO_3 + 12H_2O \xlongequal{} Sc_2(CO_3)_3 \cdot 12H_2O + 6NaNO_3$$

【$Sc_2(C_2O_4)_3$】 $$Sc_2(C_2O_4)_3 \xlongequal{\text{灼烧}} Sc_2O_3 + 3CO_2 + 3CO$$

【$Sc_2(SiF_6)_3$】 $$Sc_2(SiF_6)_3 + 24NaOH \rightleftharpoons 2Sc(OH)_3 + 3Na_2SiO_3 + 18NaF + 9H_2O$$

8.2 钇　$4d^15s^2$　Y＝88.9059

【YCl_3】 $$YCl_3 + 3NH_4OH \xlongequal{} Y(OH)_3\downarrow + 3NH_4Cl$$

(白色)

$$YCl_3 + 3NaOH \xlongequal{} Y(OH)_3\downarrow + 3NaCl$$

(沉淀不溶于过量的NaOH)

$$YCl_3 + 3HF \xlongequal{} YF_3\downarrow + 3HCl$$

(沉淀不溶于过量的HF)

$$2YCl_3 + 3H_2C_2O_4 \xlongequal{} Y_2(C_2O_4)_3\downarrow + 6HCl$$

(白色)

(沉淀不溶解于过量的$H_2C_2O_4$)

8.3 镧　$5d^16s^2$　La＝138.9055

【La_2O_3】(固体) $$La_2O_3 + 3H_2O_{(\text{温热})} \xlongequal{} 2La(OH)_3$$

$$10La_2O_3 + 2KOH + 38H_2O \xlongequal{} 2KH_9La_{10}O_{15} \cdot 15H_2O + 5O_2\uparrow$$

$$5La_2O_3 + 2NaOH + 21H_2O \xlongequal{} 2NaH_9La_5O_{15} \cdot 4H_2O + 5H_2\uparrow$$

$$La_2O_3 + 6HCl_{(\text{浓})} \xlongequal{} 2LaCl_3 + 3H_2O$$

(HF有类似的反应)

$$La_2O_3 + 6HBr = 2LaBr_3\downarrow + 3H_2O$$
（无色结晶）

$$La_2O_3(固) + 3H_2S(气) \xlongequal{\triangle} La_2S_3 + 3H_2O$$
（棕色）

$$La_2O_3 + 3SO_2 + 3H_2O = La_2(SO_3)_3\downarrow + 3H_2O$$
（白色）

$$La_2O_3 + 3H_2SO_4 = La_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$La_2O_3 + 6H_2SO_4(过量) = 2La(HSO_4)_3 + 3H_2O$$

$$2La(HSO_4)_3 \xlongequal{\triangle} La_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_4$$

$$La_2O_3 + 6HNO_3 = 2La(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$La_2O_3(固) + 6NH_4Cl(固) \xlongequal{共研} 2LaCl_3 + 6NH_3 + 3H_2O$$
（加热至190℃以上反应剧烈。或用NH_4Br有类似的反应）

$$La_2O_3 + 3NH_4NO_3 + 6HNO_3 = 3NH_4NO_3\cdot 2La(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$La_2O_3 + 3Cu(NO_3)_2 + 6HNO_3 = [Cu(NO_3)_2]_3\cdot 2La(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$2La_2O_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{共熔} Na_2La_4O_7 + 3CO_2\uparrow$$

$$La_2O_3 + 3SOCl_2 = 2LaCl_3 + 3SO_2\uparrow$$

$$2La_2O_3 + 3CS_2(气) \xlongequal{熔化} 2La_2S_3 + 3CO_2\uparrow$$
（黄色）

【$La(OH)_3$】 $2La(OH)_3 + 3Cl_2 = LaCl_3 + La(ClO)_3 + 3H_2O$

$$2La(OH)_3 + 3SO_2 = La_2(SO_3)_3\cdot 3H_2O\downarrow(针状)$$

$$2La(OH)_3 + 3CO_2 + 3H_2O = La_2(CO_3)_3\cdot 3H_2O\downarrow + 3H_2O$$

$$2La(OH)_3 + 3H_2SO_4 = La_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

【$LaCl_3$】 $LaCl_3 + 3M(碱金属) = 3MCl + La$

$$LaCl_3 + 3KOH = La(OH)_3\downarrow(白) + 3KCl$$

$$LaCl_3(无水) + 3HI(干燥) \xrightarrow{\triangle} LaI_3 + 3HCl\uparrow$$

$$LaCl_3 + H_3PO_4 = \underset{(白色)}{LaPO_4}\downarrow + 3HCl$$

$$2LaCl_3 + 3H_2C_2O_4 + 9H_2O = \underset{(白色)}{La_2(C_2O_4)_3\cdot(H_2O)_9}\downarrow + 6HCl$$

$$LaCl_3 + Na_3PO_4 = LaPO_4\downarrow + 3NaCl$$

$$LaCl_3 + Na_4P_2O_7 + H_2O = \underset{(白色)}{LaHP_2O_7}\downarrow + 3NaCl + NaOH$$

$$LaHP_2O_7 + 3H_2O = \underset{(白色结晶)}{LaHP_2O_7\cdot3H_2O}$$

$$2LaCl_3(很浓) + 4K_2CO_3 + 12H_2O = K_2La_2(CO_3)_4\cdot12H_2O\downarrow + 6KCl$$

$$4LaCl_3(很浓) + 9Na_2CO_3 + 20H_2O = Na_6La_4(CO_3)_9\cdot20H_2O\downarrow + 12NaCl$$

$$2LaCl_3(很浓) + 4(NH_4)_2CO_3 + 4H_2O = (NH_4)_2La_2(CO_3)_4\cdot4H_2O\downarrow + 6NH_4Cl$$

$$3LaCl_3 + KMnO_4 + 4Na_2CO_3 + 8H_2O = 3La(OH)_4 + Mn(OH)_4 + 8NaCl + KCl + 4CO_2\uparrow$$

($CeCl_3$有类似的反应)

$$2LaCl_3 + 3Na_2MoO_4 \xrightarrow{\triangle} La_2(MoO_4)_3\downarrow + 6NaCl$$

$$2LaCl_3 + 3Na_2WO_4 = La_2(WO_4)_3\downarrow + 6NaCl$$

$$LaCl_3 + K_3Fe(CN)_6(浓) + 4H_2O = LaFe(CN)_6\cdot4H_2O + 3KCl$$

【La_2S_3】　$La_2S_3 + 6H_2O(冷) = 2La(OH)_3\downarrow + 3H_2S$

注：La^{3+}的鉴定反应：

$$La^{3+} + CH_3COO^- + 2NH_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons La(OH)_2CH_3COO\downarrow + 2NH_4^+$$

（碱式醋酸镧）

（碱式醋酸镧能吸附 I_2 而显蓝色。此反应亦可用来检验 CH_3COO^-。但 SO_4^{2-}、PO_4^{3-}、F^- 及 BO_2^-有干扰，可用Ba^{2+}沉淀除去。）

【$La_2(SO_4)_3$】　$La_2(SO_4)_3 \xlongequal{\triangle} La_2O_2SO_4 + 2SO_3$

$$2La_2(SO_4)_3 \xlongequal{\text{剧烈加热}} 2La_2O_3 + 6SO_2\uparrow + 3O_2\uparrow$$

$$2La_2(SO_4)_3 \xlongequal{\text{快速加热至红}} 2La_2O_3 + 6SO_3$$

$$La_2(SO_4)_3 + 9H_2O \xlongequal{} La_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$$

$$La_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O \xlongequal{} La_2(SO_4)_3 + 9H_2O$$

$$2La_2(SO_4)_3 + 6NH_4OH \xlongequal{} La_2(SO_4)_3 \cdot 2La(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

（白色）

$$La_2(SO_4)_3 + 6KOH \xlongequal{} 2La(OH)_3\downarrow + 3K_2SO_4$$

（白）

$$La_2(SO_4)_3 + 4H_2S_{(\text{气})} \xlongequal{} La_2S_3S + 3H_2SO_4 + H_2\uparrow$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_{4(\text{热、浓})} \xlongequal{} 2La(HSO_4)_3$$

（冷却后结晶）

$$La_2(SO_4)_3 + 6HPO_3 \xlongequal{} 2La(PO_3)_3 + 3H_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 10HPO_3 \xlongequal{\triangle} 2[La(PO_3)_3] \cdot 2P_2O_5 + 3H_2SO_4 + 2H_2O$$

$$La_2(SO_4)_3 + 10HPO_3 \xlongequal{\triangle} La_2O_3 \cdot 5P_2O_5 + 3H_2SO_4 + 2H_2O$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3BaCl_2 \xlongequal{} 3BaSO_4\downarrow + 2LaCl_3$$

$$2La_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O \xlongequal{} La_2(SO_4)_3 \cdot 2La(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4 + 3H_2S$$

（白色）

$$La_2(SO_4)_3 + 6KCN \xlongequal{} 2La(CN)_3\downarrow + 3K_2SO_4$$

（凝胶性）

$$La_2(SO_4)_3 + 3Ba(ClO_4)_2 \xlongequal{} 3BaSO_4\downarrow + 2La(ClO_4)_3$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3Ba(BrO_3)_2 + 18H_2O \xlongequal{} [La(BrO_3)_3]_2\cdot 18H_2O + 3BaSO_4\downarrow$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3K_2SO_4 \xlongequal{} La_2(SO_4)_3\cdot 3K_2SO_4\downarrow$$

（白色结晶）

$$La_2(SO_4)_3 + Na_2SO_4 + 3H_2O \xlongequal{} La_2(SO_4)_3\cdot Na_2SO_4\cdot 3H_2O\downarrow$$

（白色）

$$La_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2SO_4 + 8H_2O \xlongequal{} La_2(SO_4)_3\cdot (NH_4)S_2O_4\cdot 8H_2O$$

（无色扁平柱体）

$$La_2(SO_4)_3 + 2Na_3PO_4 \xlongequal{} 2LaPO_4\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$2LaPO_4 + 3H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{250℃} La_2(SO_4)_3 + 2H_3PO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3Na_2HPO_4 \xlongequal{} La_2(HPO_4)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3Na_2HPO_3 \xlongequal{} La_2(HPO_3)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3Na_2CO_3 \xlongequal{} La_2(CO_3)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 2Na_4B_2O_{7(过量)} + 6H_2O \xlongequal{} 3Na_2SO_4 + La_2Na_2(P_2O_7)_2\cdot 6H_2O$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3Na_2B_4O_7 \xlongequal{} La_2(B_4O_7)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3K_2CrO_4 \xlongequal{} La_2(CrO_4)_3\downarrow + 3K_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3K_2CrO_4 + 8H_2O \xlongequal{} La_2(CrO_4)_3\cdot 8H_2O\downarrow + 3K_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 4K_2CrO_4 + 6H_2O \xlongequal{} K_2CrO_4 \cdot La_2(CrO_4)_3 \cdot 6H_2O\downarrow + 3K_2SO_4$$

$$La_2(SO_4)_3 + 3Na_2WO_4 \xlongequal{} La_2(WO_4)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

【$La(NO_3)_3$】 $La(NO_3)_3 + 6H_2O \xlongequal{} La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$

$$2La(NO_3)_3 + 2H_2O_2 + 6KOH \xlongequal{} La_2O_5\downarrow + 6KNO_3 + 5H_2O$$

$$La(NO_3)_3 + 3KOH \xlongequal{} \underset{(白色)}{La(OH)_3}\downarrow + 3KNO_3$$

$$La(NO_3)_3 + 3NaOH \xlongequal{} La(OH)_3\downarrow + 3NaNO_3$$

$$2La(NO_3)_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} La_2(SO_4)_3\downarrow + 6HNO_3$$

$$La(NO_3)_3 + 3HIO_3 \xlongequal{} \underset{(白)}{La(IO_3)_3}\downarrow + 3HNO_3$$

$$La(NO_3)_3 + 3KIO_3 \xlongequal{} \underset{(白)}{La(IO_3)_3}\downarrow + 3KNO_3$$

$$La(NO_3)_3 + 2NH_4NO_3 + 4H_2O \xlongequal{共蒸发} La(NO_3)_3 \cdot (NH_4NO_3)_2 \cdot 4H_2O$$

$$La(NO_3)_3 \cdot (NH_4NO_3)_2 \cdot 4H_2O \xlongequal{100℃} La(NO_3)_3 \cdot (NH_4NO_3)_2 + 4H_2O$$

$$2La(NO_3)_3 \cdot NH_4NO_3\,(很稀) + 3H_2C_2O_4 \xlongequal{} La_2(C_2O_4)_3 + 6HNO_3 + 2NH_4NO_3$$

$$2La(NO_3)_3 + \underset{(高钴氰化钾)}{2K_3Co(CN)_6} + 9H_2O \xlongequal{} 2LaCo(CN)_6 \cdot 9H_2O + 6KNO_3$$

【$La_2(CO_3)_3$】 $La_2(CO_3)_3 \xlongequal{600℃以上} La_2O_3 + 3CO_2$

【$La(C_2H_3O_2)_3$】 $La(CH_3COO)_3 + 3HIO_4 \xlongequal{} La(IO_4)_3\downarrow + 3CH_3COOH$

$$La(CH_3COO)_3 + HIO_4 + H_2O = LaOIO_4\uparrow + 3CH_3COOH$$

$$2La(CH_3COO)_3 + 3H_2C_4H_4O_6 = La_2(C_4H_4O_6)_3\downarrow + 6CH_3COOH$$

（白）

【$La_2(C_2O_4)_3$】 $La_2(C_2O_4)_3 \xlongequal{400℃} La_2CO_5\downarrow + 2CO_2\uparrow + 3CO\uparrow$

（过氧碳酸镧）

8.4 铈 $4f^15d^16s^2$ Ce＝740.13

【Ce_2O_3】 $2Ce_2O_3 + O_2 \xlongequal{\triangle} 4CeO_2$

$$Ce_2O_3 + 6NH_4Cl \xlongequal{300℃} 2CeCl_3 + 6NH_3 + 3H_2O$$

$$3Ce_2O_3 + 2KMnO_4 + H_2O = 2MnO_2 + 2KOH + 6CeO_2$$

$$2Ce_2O_3 + 3CS_2 \xlongequal{\triangle} 2Ce_2S_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

（红色）

【CeO_2】 $2CeO_2 + 7H_2 \xlongequal{\triangle} 2CeH_3 + 4H_2O$

$$2CeO_2 + C = Ce_2O_3 + CO$$

$$2CeO_2 + 3Cl_2 + 4CO = 2CeCl_3 + 4CO_2\uparrow$$

$$2CeO_2 + 8HCl = 2CeCl_3 + 4H_2O + Cl_2\uparrow$$

$$CeO_2 + 4HCl = CeCl_4 + 2H_2O$$

$$2CeO_{2(过量)} + 8HI = 2CeI_3 + I_2 + 4H_2O$$

$$CeI_3 + 9H_2O = CeI_3\cdot 9H_2O$$

（结晶）

$$2CeO_2 + 8HI + 5H_2O = (CeI_3)_2\cdot 9H_2O + I_2$$

$$CeO_2 + 2H_2SO_{4(过量)} = Ce(SO_4)_2 + 2H_2O$$

（橙红色结晶）

$$2Ce(SO_4)_2 = Ce_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3Ce(SO_4)_2 + 31H_2O = Ce_2(SO_4)_3 \cdot [Ce(SO_4)_2]_3 \cdot 31H_2O$$

$$CeO_2 + 2H_2SO_4\text{（浓热）} = \underset{\text{（淡红色）}}{Ce(SO_4)_2} + 2H_2O$$

$$2Ce(SO_4)_2 = Ce_2(SO_4)_3 + SO_2 + O_2$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 5H_2O = Ce_2(SO_4)_3 \cdot 5H_2O$$

$$CeO_2 + 4HNO_3 = Ce(NO_3)_4 + 2H_2O$$

$$Ce(NO_3)_4 = Ce(NO_3)_3 + NO\uparrow + O_2\uparrow$$

$$2CeO_2 + 8HCl + 2KI = 2CeCl_3 + 2KCl + I_2 + 4H_2O$$

$$4CeO_2 + 4KPO_3 \xlongequal{\text{熔融}} 4CePO_4 + 2K_2O + O_2\uparrow$$

【CeO_3】 $2CeO_3 + 6FeO \rightleftharpoons Ce_2O_3 + 3Fe_2O_3$

$$2CeO_3 + 3H_2SO_4 = Ce_2(SO_4)_3 + H_2O_2 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

【CeH_3】 $4CeH_3 + 7O_2 \xlongequal{\text{自动燃烧}} 4CeO_2 + 6H_2O$

$$CeH_3 + 3HCl = CeCl_3 + 3H_2\uparrow$$

【$Ce(OH)_3$】 $2Ce(OH)_3 + 3Cl_2 = CeCl_3 + Ce(ClO)_3 + 3H_2O$

$$2Ce(OH)_3 + Cl_2 + 2H_2O = 2Ce(OH)_4 + 2HCl$$

$$4Ce(OH)_3 + O_2 \xlongequal{\triangle} 4CeO_2 + 6H_2O$$

$$4Ce(OH)_3 + O_2 + 2H_2O = \underset{\text{（黄色）}}{4Ce(OH)_4}$$

$$Ce(OH)_3 + 3HCl = CeCl_3 + 3H_2O$$

$$2Ce(OH)_3 + 3H_2SO_4 = Ce_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$2Ce(OH)_3 + 3H_2SeO_4 = Ce_2(SeO_4)_3 + 6H_2O$$

$$Ce(OH)_3 + 3HNO_3 = Ce(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$Ce(OH)_3 + 3NH_4Cl \xlongequal{\text{煮沸}} CeCl_3 + 3NH_3\uparrow + 3H_2O$$

$$Ce(OH)_3 + Ag(NH_3)_2^+ + OH^- = Ce(OH)_4 + Ag + 2NH_3\uparrow$$

【$Ce(OH)_4$】　$Ce(OH)_4 + 2H_2SO_4$ (稀) $= Ce(SO_4)_2 + 4H_2O$

$$Ce(OH)_4 + 4HNO_3 = Ce(NO_3)_4 + 4H_2O$$

$$2Ce(OH)_4 + 4NH_4OH + 12HNO_3 = 2[(NH_4)_2Ce(NO_3)_6]\cdot 3H_2O + 9H_2O$$

$$Ce(OH)_4 + 6KNO_3 = K_2Ce(NO_3)_6 + 4KOH$$

【$CeCl_3$】　$CeCl_3 + 3M$ (碱金属) $= 3MCl + Ce$

$$CeCl_3 + 3NaOH = Ce(OH)_3\downarrow + 3NaCl$$

$CeCl_3 + 3NH_4OH = Ce(OH)_3\downarrow$ (白色) $+ 3NH_4Cl$

$$2CeCl_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Ce_2(SO_4)_3 + 6HCl$$

$$CeCl_3 + H_3PO_4 = CePO_4 + 3HCl$$

$2CePO_4$ (独居石矿) $+ 3H_2SO_4$ (浓) $\xlongequal{250℃} Ce_2(SO_4)_3 + 2H_3PO_4$

$$2CeCl_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O = 2Ce(OH)_3\downarrow + 6NH_4Cl + 3H_2S\uparrow$$

$2CeCl_3$ (无水) $+ 3Na_2S_5 \xlongequal{溶化} Ce_2S_3$ (淡黄绿色) $+ 6NaCl + 12S$

$2CeCl_3$ (浓) $+ 4K_2CO_3(50\%) + 12H_2O = Ce_2K_2(CO_3)_4\cdot 12H_2O + 6KCl$

$$2CeCl_3 + 4(NH_4)_2CO_3 + 6H_2O = Ce_2(NH_4)_2(CO_3)_4\cdot 6H_2O + 6NH_4Cl$$

$$2CeCl_3 + 3(NH_4)_2CO_3 + 5H_2O = Ce_2(CO_3)_3\cdot 5H_2O\downarrow + 6NH_4Cl$$

$$3CeCl_3 + KMnO_4 + 4Na_2CO_3 + 8H_2O = 3Ce(OH)_4 + Mn(OH)_4 + 8NaCl + KCl + 4CO_2$$

$$2CeCl_3 + 3(NH_4)_2C_2O_4 = \underset{\text{(白色)}}{Ce_2(C_2O_4)_3\downarrow} + 6NH_4Cl$$

(与$H_2C_2O_4$有类似的反应)

$$Ce_2(C_2O_4)_3 + 6HBr\text{（气）} \xlongequal{\triangle} 2CeBr_3 + 3CO_2\uparrow + 3CO\uparrow + 3H_2O$$

$$Ce_2(C_2O_4)_3 \xlongequal{\triangle} Ce_2(CO_3)_3 + 3CO\uparrow$$

$$2CeCl_3 + 3(NH_4)_2MoO_4 = \underset{\text{(白色)}}{Ce_2(MoO_4)_3\downarrow} + 6NH_4Cl$$

$$4CeCl_3 + 6Na_2B_4O_7 + O_2 \xlongequal{\text{燃烧}} 4CeO_2 + 12B_2O_3 + 12NaCl$$

$$CeCl_3\text{（冷、浓）} + K_4Fe(CN)_6\text{（冷、浓）} = 3KCl + \underset{\text{(白色)}}{K[CeFe(CN)_6]\downarrow}$$

$$CeCl_3 + Na_4Fe(CN)_6 = \underset{\text{(白色)}}{NaCeFe(CN)_6\downarrow} + 3NaCl$$

$$CeCl_3 + (NH_4)_4Fe(CN)_6 = \underset{\text{(白色)}}{NH_4CeFe(CN)_6\downarrow} + 3NH_4Cl$$

【$CeCl_4$】 $CeCl_4 + H_2O = \underset{\text{(黑棕色)}}{CeOCl_2} + 2HCl$

【CeN】 $2CeN + 3H_2O = Ce_2O_3 + 2NH_3$

$$2CeN + 4H_2SO_4 = Ce_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2SO_4$$

【$Ce(IO_3)_3$】 $5Ce(IO_3)_3 + KMnO_4 + 5HIO_3 + 3HNO_3$

$$=5Ce(IO_3)_4+Mn(NO_3)_2+KNO_3+4H_2O$$

[$Ce_2(SO_4)_3$]

$$Ce_2(SO_4)_3\xlongequal{855-946℃}Ce_2O_2SO_4+2SO_2\uparrow+O_2\uparrow$$

$$2Ce_2O_2SO_4\xlongequal{1090-1250℃}2Ce_2O_3+2SO_2\uparrow+O_2\uparrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3+3H_2O=Ce_2(SO_4)_3\cdot 3H_2O$$

$$Ce_2(SO_4)_3+H_2O_2+H_2SO_4=2Ce(SO_4)_2+2H_2O$$

$$Ce_2(SO_4)_3+6NaOH=2Ce(OH)_3\downarrow+3Na_2SO_4$$

（$Ce(OH)_3$沉淀溶于过量的碱）

$$7Ce_2(SO_4)_3+2HClO_4\ (70\%)+7H_2SO_4\ (96\%)\xlongequal{140℃}14Ce(SO_4)_2+Cl_2\uparrow+8H_2O\uparrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3+6HIO_3+2H_2O=2Ce(IO_3)_3\cdot 2H_2O+3H_2SO_4$$

$$Ce_2(SO_4)_3+H_2S_2O_8\xlongequal{足量的酸}2Ce(SO_4)_2+H_2SO_4$$

$$Ce_2(SO_4)_3+2H_3PO_4+4H_2O=2[CePO_4\cdot 2H_2O]\downarrow+3H_2SO_4$$

（白色）

$$Ce_2(SO_4)_3+3BaCl_2=3BaSO_4\downarrow+2CeCl_3$$

$$CeCl_3+7H_2O=CeCl_3\cdot 7H_2O$$

（结晶）

$$Ce_2(SO_4)_3+3(NH_4)_2S+6H_2O=2Ce(OH)_3\downarrow+3H_2S+3(NH_4)_2SO_4$$

$$2Ce_2(SO_4)_3+2NaBrO+12NaOH=4Ce(OH)_3\downarrow+2NaBr+6Na_2SO_4+O_2\uparrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3+3Ba(BrO_3)_2+9H_2O=2Ce(BrO_3)_3\cdot 9H_2O+3BaSO_4\downarrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_4\ (浓) = 2Ce(HSO_4)_3$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2SO_4 + 8H_2O = Ce_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 8H_2O\ (结晶)$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3BaS_2O_6 + 5H_2O \xlongequal{15-17℃} Ce_2(S_2O_6)_3 \cdot 5H_2O + 3BaSO_4\downarrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3BaS_2O_6 + H_2O \xlongequal{20℃以上} Ce_2(S_2O_6)_3 \cdot H_2O + 3BaSO_4\downarrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 5Na_2CO_3 + 2H_2O \xlongequal{沸} 3Na_2SO_4 + Ce_2(CO_3)_3 \cdot (Na_2CO_3)_2 \cdot 2H_2O\downarrow$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2CO_3 + 5H_2O = Ce_2(CO_3)_3 \cdot 5H_2O + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$5Ce_2(SO_4)_3 + 2KMnO_4 + 8H_2SO_4 = 10Ce(SO_4)_2 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2MoO_4 = Ce_2(MoO_4)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$Ce_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2C_2H_4O_6 + 9H_2O = 3(NH_4)_2SO_4 + Ce_2(C_2H_4O_6)_3 \cdot 9H_2O\downarrow$$

【$Ce(SO_4)_2$】 $2Ce(SO_4)_2 \xlongequal{\triangle} Ce_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$$4Ce(SO_4)_2 + 2H_2O = 2Ce_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4 + O_2\uparrow$$

$$2Ce(SO_4)_2 + H_2O_2 = Ce_2(SO_4)_3 + H_2SO_4 + O_2\uparrow$$

$$2Ce(SO_4)_2 + 2N_2H_4 = (NH_4)_2SO_4 + Ce_2(SO_4)_3 + N_2\uparrow$$

$$Ce(SO_4)_2 + 4NH_4OH = Ce(OH)_4\downarrow + 2(NH_4)_2SO_4$$

$$Ce(SO_4)_2 + 4NH_4OH = CeO(OH)_2\downarrow + 2(NH_4)_2SO_4 + H_2O$$

$$2Ce(SO_4)_2 + KI + CH_3COCH_3 \xlongequal{H_2SO_4} KHSO_4 + Ce_2(SO_4)_3 + CH_3COCH_2I$$

$$Ce(SO_4)_2 + 2Ba(BrO_3)_2 = Ce(BrO_3)_4 + 2BaSO_4\downarrow$$

$$2Ce(SO_4)_2 + 2FeSO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + Ce_2(SO_4)_3$$

$$Ce(SO_4)_2 + 2K_2SO_4 + 2H_2O = Ce(SO_4)_2\cdot(K_2SO_4)_2\cdot 2H_2O$$

$$2Ce(SO_4)_2 + KNO_2 + H_2O = Ce_2(SO_4)_3 + KNO_3 + H_2SO_4$$

$$2Ce^{4+} + AsO_3^{3-} + H_2O = 2Ce^{3+} + AsO_4^{3-} + 2H^+$$

$$2Ce(SO_4)_2 + Na_2C_2O_4 \xlongequal{\triangle} Na_2SO_4 + 2CO_2 + Ce_2(SO_4)_3$$

$$2Ce(SO_4)_2 + 2Na_4Fe(CN)_6 = 2Na_3Fe(CN)_6 + Na_2SO_4 + Ce_2(SO_4)_3$$

$$Ce^{4+} + Fe^{2+} \longrightarrow Ce^{3+} + Fe^{3+}$$

【$Ce(SO_4)_4$】 $Ce(SO_4)_4 + 5H_2O \xlongequal{25℃} CeSO_4(OH)_2\cdot H_2O\downarrow + 3H_2SO_4 + O_2\uparrow$

$$CeSO_4(OH)_2\cdot H_2O = CeO_2 + SO_3 + 2H_2O$$

$$2Ce(SO_4)_4 + 5KNO_2 + 5H_2O = Ce_2(SO_4)_3 + 5KNO_3 + 5H_2SO_4$$

【$Ce_2(SeO_4)_3$】 $Ce_2(SeO_4)_3 + 6NH_4OH = 2Ce(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SeO_4$

$$Ce_2(SeO_4)_3 + (NH_4)_2SeO_4 + 9H_2O = Ce_2(SeO_4)_3\cdot(NH_4)_2SeO_4\cdot 9H_2O\downarrow$$

【$Ce(NO_3)_3$】 $Ce(NO_3)_2 + 3NaOH = Ca(OH)_3\downarrow + 3NaNO_3$

$$2Ce(NO_3)_{2(浓)} + 6HF + H_2O = (CeF_3)_2 \cdot H_2O\downarrow + 6HNO_3$$
(白色)

$$Ce(NO_3)_3 + 3HIO_3 + 2H_2O = Ce(IO_3)_3 \cdot 2H_2O\downarrow + 3HNO_3$$
(白色无定形)

$$Ce(NO_3)_3 + H_3PO_4 = CePO_4 + 3HNO_3$$

$$2Ce(NO_3)_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O = 2Ce(OH)_3\downarrow + 3H_2S + 6NH_4NO_3$$

$$Ce(NO_3)_3 + Co(NH_3)_3(NO_3)_3 + 4H_2O = Ce(OH)_4 + Co(NO_3)_2 + 3NH_4NO_3 + HNO_3$$

$$Ce(NO_3)_3 + Na_4P_2O_7 + 4H_2O = CeHP_2O_7 \cdot 3H_2O\downarrow + 3NaNO_3 + NaOH$$

$$6Ce(NO_3)_3 + 2KMnO_4 + 8Na_2CO_3 + 16H_2O \xlongequal{碱性溶液中} 6Ce(OH)_4 + 2Mn(OH)_4 + 16NaNO_3 + 2KNO_3 + 8CO_2\uparrow$$

$$6Ce(NO_3)_3 + 2KMnO_4 + 4H_2O = 4Ce(NO_3)_4 + 2Ce(OH)_4 + 2KNO_3 + 2MnO_2$$

$$2Ce(NO_3)_3 + 3(NH_4)_2MoO_4 = Ce_2(MoO_4)_3\downarrow + 6NH_4NO_3$$

$$4Ce(NO_3)_3 + 3K_4Fe(CN)_6 = Ce_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow + 12KNO_3$$
(白色)

【$Ce(NO_3)_4$】 $Ce(NO_3)_4 = Ce(NO_3)_3 + NO + O_2$

$$Ce(NO_3)_4 + 4H_2O = Ce(OH)_4 + 4HNO_3$$

$$Ce(NO_3)_4 + 2Na_2O_2 + 2H_2O = Ce(OH)_4\downarrow + 4NaNO_3 + O_2\uparrow$$

$$Ce(NO_3)_4 + 4NH_4NO_3 + 3H_2O = [Ce(NO_3)_4]\cdot[NH_4NO_3]_4\cdot 3H_2O$$

$$Ce(NO_3)_4 + 2CuCO_3 + 2H_2O = Ce(OH)_4\downarrow + 2Cu(NO_3)_2 + 2CO_2\uparrow$$

【$Ce_2(CO_3)_3$】

$$Ce_2(CO_3)_3 \overset{\triangle}{=} Ce_2O_3 + 3CO_2\uparrow$$

$$Ce_2(CO_3)_3 + 6HCl = 2CeCl_3 + 3CO_2 + 3H_2O$$

$$CeCl_3 + 7H_2O = \underset{\text{(微黄色)}}{CeCl_3\cdot 7H_2O}$$

$$Ce_2(CO_3)_3 + 3H_2SO_3 \overset{\triangle}{=} Ce_2(SO_4)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$Ce_2(CO_3)_3 + 6HCOOH = 2Ce(CO_2H)_3 + 3CO_2 + 3H_2O$$

$$Ce_2(CO_3)_3 + 6CH_3COOH = 2Ce(C_2H_3O_2)_3 + 3CO_2 + 3H_2O$$

【$Ce(OH)(NO_3)_3$】

$$2Ce(OH)(NO_3)_3 + 2NH_4OH = \underset{\text{(红色)}}{(NH_4)_2Ce(NO_3)_6\downarrow} + Ce(OH)_4\downarrow$$

注： 1．铈盐与$Na_2S_2O_3$溶液不发生沉淀；

2．铈盐与K_2SO_4的饱和溶液作用，有白色$Ce(SO_3)_3\cdot 3K_2SO_4$沉淀生成；

3．铈盐与H_2O_2作用，生成黄色的$Ce(OH)_3O\cdot OH$或$CeO_3\cdot 2H_2O$沉淀；

4．铈盐与$(NH_4)_2CO_3$溶液作用，生成白色的$Ce_2(CO_3)_3$沉淀；

5．铈盐与NH_4F作用时，生成CeF_3白色沉淀；

6．铈盐与KIO_3溶液作用时，生成白色的$Ce(IO_3)_3$沉淀。

8.5 钍 $6d^27s^2$ Th＝232.0381

【Th】 $Th + 2X_2 \xrightarrow{\triangle} ThX_4$

($X_2 = F_2$、Cl_2、Br_2、I_2)

$Th + O_2$(空气) $\xrightarrow{燃烧} ThO_2$

$Th + S \xrightarrow{高温}$ 多种硫化物(如ThS_2、Th_2S_2、ThS)

$3Th + 2N_2 \xrightarrow{高温} Th_3N_4$

$3Th + 2P_2 = Th_3P_4$

$Th + C \xrightarrow{\triangle} ThC$[或$ThC_2$(金黄色)]

$ThC_2 + H_2O \longrightarrow$ 烃类 $+ H_2\uparrow$

注： HX、稀H_2SO_4与Th作用，放出氢气。浓HNO_3使Th钝化，Th易溶于浓的HCl和王水。Th和强碱无作用。

【ThO_2】 $ThO_2 + 2Ca \xrightarrow[于氩气氛中]{950℃} Th + 2CaO$

(用于制取Th)

$ThO_2 + 2CO + 2Cl_2$(气流) $\xrightarrow{\triangle} ThCl_4 + 2CO_2$

注： ThO_2是一种很稳定的物质，不溶于水、稀酸和稀碱。

$ThO_2 + 2H_2SO_4$(浓) $\xrightarrow{\triangle} Th(SO_4)_2 + 2H_2O$

$ThO_2 + 4HNO_3 = Th(NO_3)_4 + 2H_2O$

$ThO_2 + 4KHSO_4 \xrightarrow{熔融} Th(SO_4)_2 + 2K_2SO_4 + 2H_2O$

【$Th(OH)_4$】 $Th(OH)_4 + CO_2 + (x-1)H_2O =$

$Th(OH)_2CO_3 \cdot xH_2O$

(碱式碳酸钍)

($Th(OH)_4$不溶于碱)

【$ThCl_4$】 $ThCl_4 + 4Na = 4NaCl + Th$

$ThCl_4 + 2H_2O = Th(OH)_2Cl_2 + 2HCl$

$ThCl_4 + nNH_3 \longrightarrow ThCl_4 \cdot 6NH_3$、$ThCl_4 \cdot 8NH_3 \cdots\cdots$

$ThCl_4 + 4HF_{(气)} = ThF_4 + 4HCl$

$ThCl_4 + 4KF = ThF_4\downarrow + 4KCl$

【ThI_3】 $2ThI_3 \xlongequal{500-600℃} ThI_4 + ThI_2$

注：1．钍盐与NH_3、$(NH_4)_2S$、NaOH等作用时，均有白色($Th(OH)_4$或$ThO_2 \cdot nH_2O$)沉淀生成；

2．钍盐与Na_2CO_3或$(NH_4)_2CO_3$溶液作用时，有白色碱式碳酸钍沉淀生成；

3．钍盐与草酸或草酸铵溶液作用时，有白色结晶$Th(C_2O_4)_2(H_2O)$生成；

4．钍盐与K_2SO_4饱和溶液作用时，生成白色络盐沉淀$K_4Th(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$；

5．H_2O_2与钍作用，生成水合过氧化钍沉淀$ThO_3 \cdot 3H_2O$、$Th(OH)_3OH$、$Th_2O_3 \cdot 4H_2O$

6．钍盐与KIO_3溶液作用，生成白色沉淀$Th(IO_3)_4$；

7．钍盐与$Na_2S_2O_3$溶液作用，生成$Th(S_2O_3)_2$；

8．钍盐与$K_4Fe(CN)_6$溶液作用，生成白色$Th[Fe(CN)_6]$沉淀。

8.6　铀　$5f^36d^17s^2$　U＝238.029

铀是一种银白色的金属，相当软，比重很大（比重为18.7），在1133℃时熔化，化学性质活泼，在室温下会氧化，

粉末铀有可燃性，块状铀可与沸水作用。

【U】 $U + 3F_2 = UF_6$

（U与Cl_2、Br_2、I_2反应时，需加热。加热时U还能与其他非金属反应。）

$$U + 2H_2O_{(沸)} = UO_2 + 2H_2\uparrow$$

注： 铀能溶于稀酸（稀H_2SO_4除外），与强碱作用很微弱。铀是一种强还剂，可以从许多金属的盐溶液中将它们置换出来如Sn、Cu、Ag、Hg等。

【UO_2】 $UO_2 + 4HF = UF_4 + 2H_2O$

$$UO_2 + 2HF \xlongequal{350-500℃} UOF_2 + H_2O$$

$$UO_2 + \frac{1}{2}O_2 + 3Na_2CO_3 + H_2O = 2NaOH + Na_4[UO_2(CO_3)_3]$$

【UO_3】 $UO_3 + 3SF_4 \xlongequal{300℃} UF_6 + 3SOF_2$

$$UO_3 + 3Na_2CO_3 + H_2O = Na_4[UO_2(CO_3)_3] + 2NaOH$$

【U_3O_8】 $U_3O_8 + 6Cl_2 + 8C = \underset{(暗绿色)}{3UCl_4} + 8CO\uparrow$

$$U_3O_8 + 8H_2SO_4 = 2H_4[UO_2(SO_4)_3] + U(SO_4)_2 + 4H_2O$$

$$U_3O_8 + 4H_2SO_4 = 2UO_2SO_4 + U(SO_4)_2 + 4H_2O$$

$$U_3O_8 + 4KHCO_3 \xlongequal{\triangle} K_4[UO_2(CO_3)_3] + U_2O_5 + CO_2 + 2H_2O$$

【UF_4】 $2UF_4 + H_2 \xlongequal{1000℃} 2UF_3 + 2HF$

$$UF_4 + F_2 = UF_6$$

$$UF_6 + 2H_2O = UO_2F_2 + 4HF$$

$$2UF_4 + O_2 = UF_6 + UO_2F_2$$

$$UF_6 + H_2 = UF_4 + 2HF$$

$$UF_4 + 3Ca = 2CaF_2 + U$$

【UF_6^-】 $2UF_6^- + 3H_2O_2 + 10H^+ = 2UO_2^{2+} + 12HF + 2H_2O$

$$2UF_6^- + 2I^- = 2UF_4 + I_2 + 4F^-$$

【UCl_4】 $2UCl_4 + O_2$（空气）$+ 2H_2O = 2UO_2Cl_2 + 4HCl$

【UCl_5】 $2UCl_5 \xlongequal{\text{微加热}} 2UCl_4 + Cl_2$

$$2UCl_5 \xlongequal{\text{高真空内加热}} UCl_6 + UCl_4$$

$$2UCl_5 + 2H_2O = UCl_4 + UO_2Cl_2 + 4HCl$$

【UO_2S】 $UO_2S + 3(NH_4)_2CO_3 = (NH_4)_2S + (NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$

【UO_2SO_4】 $UO_2SO_4 + Zn + 2H_2SO_4 = U(SO_4)_2 + ZnSO_4 + 2H_2O$

$$UO_2SO_4 + 3Na_2CO_3 = Na_4[UO_2(CO_3)_3] + Na_2SO_4$$

【$UO_2(NO_3)_2$】（硝酸铀氧基）

$$2UO_2(NO_3)_2 \xlongequal{\text{细心加热}} 2UO_3 + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$UO_2(NO_3)_2 + H_2O_2 + 2H_2O = UO_4 \cdot 2H_2O + 2HNO_3$$

$$2UO_2(NO_3)_2 + 6NH_3 + 3H_2O = (NH_4)_2U_2O_7 + 4NH_4NO_3$$

$$2UO_2(NO_3)_2 + 6NaOH = Na_2U_2O_7 + 4NaNO_3 + 3H_2O$$

$$UO_2(NO_3)_2 + (NH_4)_2S = 2NH_4NO_3 + UO_2S\downarrow$$

$$UO_2(NO_3)_2 + Na_2HPO_4 \xlongequal{} 2NaNO_3 + UO_2HPO_4\downarrow$$

（白色）

$$UO_2(NO_3)_2 + Na_2HPO_4 + NH_4C_2H_3O_2 \xlongequal{} 2NaNO_3 + CH_3COOH + UO_2NH_4PO_4\downarrow$$

$$UO_2(NO_3)_2 + 3(NH_4)_2CO_3 \xlongequal{} (NH_4)_4UO_2(CO_3)_3 + 2NH_4NO_3$$

$$UO_2(NO_3)_2 + 2BaCO_3 \xlongequal{} Ba(NO_3)_2 + BaUO_2(CO_3)_2$$

【$(NH_4)_2U_2O_7$】 $(NH_4)_2U_2O_7 + 6(NH_4)_2CO_3 + 3H_2O \xlongequal{} 6NH_4OH + 2(NH_4)_4UO_2(CO_3)_3$

【$U(C_2O_4)_2\cdot 6H_2O$】 $U(C_2O_4)_2\cdot 6H_2O + 2K_2C_2O_4\cdot H_2O \xlongequal{} K_4U(C_2O_4)_4\cdot 5H_2O + 3H_2O$

【$(UO_2)_2Fe(CN)_6$】 $(UO_2)_2Fe(CN)_6 + 6NaOH \xlongequal{} Na_4Fe(CN)_6 + Na_2U_2O_7 + 3H_2O$

【$UO_2{}^{2+}$】 $2UO_2^{2+} + Fe(CN)_6^{6-} \xlongequal{\text{中性}} (UO_2)_2Fe(CN)_6\downarrow$

（棕色）

第九章　钛分族

9.1　钛　$3d^2 4s^2$　$Ti = 47.90$

【Ti】 $$Ti + 2X_2 \xlongequal{\text{高温}} TiX_4$$

（Ti与F_2反应为150℃，与Cl_2反应为300℃才能进行）

$$Ti_{(\text{粉})} + 2I_{2(\text{气})} \xlongequal{400—500℃} TiI_4$$

$$Ti + O_{2(\text{空气})} \xlongequal{1200℃} TiO_2$$

（在纯氧气中需加热至600℃才能反应）

$$2Ti + N_{2(\text{空气})} \xlongequal{1200℃} 2TiN$$

（在纯N_2中800℃就反应）

$$Ti + C \xlongequal{1800—2000℃} \underset{(\text{黑色})}{TiC}$$

（TiC很硬，熔点为3100℃）

$$Ti + 2OH^- + H_2O \xlongequal{\triangle} TiO_3^{2-} + 2H_2\uparrow$$

（中等程度的强碱浓的有反应，稀的无反应）

注：稀 HCl和稀H_2SO_4 几乎不与Ti反应，常温下也不和HNO_3 反应。Ti 易溶于 HF 和 HCl 的混合液中或溶于 HF 和H_2SO_4（或HNO_3） 的混合酸中。

$$Ti + 6HF \xlongequal{} [TiF_6]^{2-} + 2H^+ + 2H_2\uparrow$$

$$2Ti + 6HF \xlongequal{} 2TiF_3 + 3H_2 \text{（主要反应）}$$

$$2Ti + 6HCl_{(\text{浓})} \xlongequal{\triangle} 2TiCl_3 + 3H_2\uparrow$$

$$Ti + 2H_2SO_{4(浓)} + H_2O = [TiO(SO_4)_2]^{2-} + 2H_2\uparrow + 2H^+$$

$$2Ti + 3H_2SO_{4(浓)} = Ti_2(SO_4)_3 + 3H_2\uparrow$$

$$Ti + 4HNO_3 \xlongequal{\triangle} H_2TiO_3\downarrow + 4NO_2\uparrow + H_2O$$

【TiO】 $2TiO + 6HCl_{(稀)} = 2TiCl_3 + H_2\uparrow + 2H_2O$

$$TiO + 2HCl_{(冷、稀)} = TiCl_2 + H_2O$$

【TiO_2】 **注：TiO_2是两性氧化物。**

$$2TiO_2 + H_2 \xlongequal{1000℃} Ti_2O_3 + H_2O$$

$$TiO_{2(固)} + 2C_{(固)} + 2Cl_{2(气)} \xlongequal{800\text{--}900℃} TiCl_4 + 2CO\uparrow$$

（先加热TiO_2和C的混合物，然后通Cl_2气）

$$TiO_2 + 2Ca \xlongequal{氩气中} 2CaO + Ti$$

（用Na代替Ca有类似的反应）

$$TiO_2 + Ti \xlongequal[在真空中]{1700℃} 2TiO$$

$$TiO_2 + 2NaOH = Na_2TiO_3 + H_2O$$

$$TiO_2 + 6HF = H_2[TiF_6] + 2H_2O$$

$$TiO_2 + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} Ti(SO_4)_2 + 2H_2O$$

（稀H_2SO_4无反应）

$$TiO_2 + H_2SO_{4(热、浓)} = TiOSO_4 + H_2O$$

$$TiOSO_4 + H_2O_{(冷)} = TiO_2 + H_2SO_4$$

$$TiO_2 + 2K_2S_2O_7 = Ti(SO_4)_2 + 2K_2SO_4$$

$$TiO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{熔融} Na_2TiO_3 + CO_2\uparrow$$

（同时，还可能有少量的Na_4TiO_4）

$$TiO_2 + BaCO_3 \xlongequal[熔融]{加Na_2CO_3助熔} BaTiO_3 + CO_2\uparrow$$

【$Ti(OH)_3$】 $2Ti(OH)_3 + 2H_2O + O_2 = 2Ti(OH)_4 + H_2O_2$

【$Ti(OH)_4$】 $Ti(OH)_4 \xlongequal{灼烧} TiO_2 + 2H_2O$

$$H_4TiO_4 \xlongequal{\triangle} H_2TiO_3 + H_2O$$

$$H_2TiO_3 \xlongequal{\text{灼烧}850℃} TiO_2 + H_2O$$

$$\underset{\text{偏钛酸}}{H_2TiO_3} + H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\text{长期加热}} TiOSO_4 + 2H_2O$$

【Na_2TiO_3】　$Na_2TiO_3 + 2H_2O \xlongequal{} TiO(OH)_2 + 2NaOH$

$$Na_2TiO_3 + 2H_2SO_4 \xlongequal{} TiOSO_4 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

【$FeTiO_3$】　$2FeTiO_3 + 4HCl + Cl_2 \xlongequal{\text{高温}} 2FeCl_3 + 2TiO_2 + 2H_2O$

（温度控制在足以使$FeCl_3$挥发出来）

$$FeTiO_3 + 2H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\triangle} TiOSO_4 + FeSO_4 + 2H_2O$$

$$FeTiO_3 + H_2SO_4 \xlongequal{} H_2TiO_3 + FeSO_4$$

$$FeTiO_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} Ti(SO_4)_2 + FeSO_4 + 3H_2O$$

由钛铁矿提炼钛：

$$\underset{\text{（钛铁矿）}}{FeTiO_3} + C \xlongequal{1000℃} TiO_2 + CO\uparrow + Fe$$

（得到含TiO_2 92%的高钛渣）

$$TiO_2 + 2C + 2Cl_2 \xlongequal[800-1000℃]{\text{氯化炉内}} TiCl_4 + 2CO\uparrow$$

$$TiCl_{4(\text{气})} + \underset{\text{（过量5\%）}}{2Mg_{(\text{液态})}} \xlongequal[800-900℃]{\text{惰气保护}} 2MgCl_{2(\text{液态})} + \underset{\text{（海绵状）}}{Ti}$$

【$TiCl_4$】　$2TiCl_4 + H_{2(\text{过量})} \xlongequal{\text{高温惰气中}} 2TiCl_3 + 2HCl$

（在700℃时还原生成$TiCl_2$）

$$TiCl_4 + 2H_2 \xlongequal{\text{高温惰气中}} 4HCl + Ti$$

$$TiCl_4 + 3H_2 + CO \xlongequal{} TiC + 4HCl + H_2O$$

$$TiCl_4 + 4M_{(碱金属)} \xlongequal{} 4MCl + Ti$$

$$TiCl_4 + 4Na \xlongequal{700-800℃} Ti + 4NaCl$$

$$2TiCl_4 + Zn \xlongequal{在强酸溶液中} 2TiCl_3 + ZnCl_2$$

$$2Ti^{4+} + Zn \xlongequal{} 2Ti^{3+} + Zn^{2+}$$

$$TiCl_{4(气)} + 2Mg_{(液)} \xlongequal[惰气中]{800-900℃} \underset{(海绵状)}{Ti_{(固)}} + 2MgCl_{2(液)} + 122千卡$$

$$6TiCl_4 + 32NH_3 \xlongequal{} 6TiN + N_2 + 24NH_4Cl$$

$$TiCl_4 + 3H_2O_{(气)} \xlongequal{} H_2TiO_3 + 4HCl\uparrow$$

$$TiCl_4 + 2H_2O_{(气)} \xlongequal{} TiO_2\downarrow + 4HCl\uparrow$$

$$TiCl_4 + H_2O_2 \xlongequal{} \underset{(四氯过钛酸，橙红色)}{H_2[Ti(O_2)Cl_4]}$$

$$TiCl_4 + 4SO_3 \xlongequal{} Ti(SO_4)_2 + 2SO_2Cl_2$$

$$TiCl_4 + 2CuO \overset{\triangle}{\rightleftharpoons} 2CuCl_2 + TiO_2$$

$$TiCl_4 + 4NH_4OH \xlongequal{} \underset{(白色胶性)}{Ti(OH)_4\downarrow} + 4NH_4Cl$$

$$TiCl_4 + 4NaOH \xlongequal{干态400℃} TiO_2 + 4NaCl + 2H_2O$$

$$TiCl_4 + 4NaOH \xlongequal{} \underset{(白色胶性)}{H_4TiO_4\downarrow} + 4NaCl$$

$$TiCl_4 + 4NaOH \xlongequal{} H_2TiO_3 + 4NaCl + H_2O$$

$$TiCl_4 + 4HF \xlongequal{} \underset{(白色粉末)}{TiF_4} + 4HCl$$

$$TiCl_4 + 2HCl \xlongequal{} \underset{(黄色，六氯钛酸)}{H_2[TiCl_6]}$$

$$TiCl_4 + 2H_2S \xlongequal{\triangle} TiS_2 + 4HCl$$

（在灼热的瓷管内进行）

$$TiCl_4 + 2NH_4Cl \xlongequal{} (NH_4)_2[TiCl_6]$$

$$TiCl_4 + 2Cl^- = [TiCl_6]^{2-}$$

$$TiCl_4 + 2(NH_4)_2S + 4H_2O = 4NH_4Cl + 2H_2S + H_4TiO_4$$

$$TiCl_4 + 2Na_2S_2O_3 + H_2O \xlongequal{加热至沸} 4NaCl + H_2TiO_3 + 2S + 2SO_2\uparrow$$

$$2TiCl_4 + Na_2S_2O_4 \underset{在碱性溶液中}{\overset{在酸性溶液中}{\rightleftharpoons}} 2TiCl_3 + 2NaCl + 2SO_2\uparrow$$

$$TiCl_4 + 2BaCO_3 + 2H_2O = 2BaCl_2 + H_4TiO_4 + 2CO_2\uparrow$$

$$Ti^{4+} + 4C_2H_3O_2^- + 3H_2O \xlongequal{煮沸} 4HC_2H_3O_2 + H_2TiO_3$$

$$\underset{(试铜铁灵)}{Ti^{4+} + 4C_6H_5NO\cdot NO^-} = \underset{(黄色)}{Ti(C_6H_5NO\cdot NO)_4\downarrow}$$

【$TiCl_3$】 $2TiCl_3 \xlongequal[加热至450℃]{隔绝空气} TiCl_2 + TiCl_4$

$$TiCl_{3(无水)} + 6NH_{3(液态)} = TiCl_3\cdot 6NH_{3(无色)}$$

【$Ti(SO_4)_2$】 $6Ti(SO_4)_2 + 2Al = 3Ti_2(SO_4)_3 + Al_2(SO_4)_3$

（在H_2SO_4存在下进行反应）

$$Ti(SO_4)_2 + H_2O = TiOSO_4 + H_2SO_4$$

$$Ti(SO_4)_2 + H_2O_2 = H_2[TiO_2(SO_4)_2]$$

$$Ti(SO_4)_2 + 4NaOH = H_4TiO_4\downarrow + 2Na_2SO_4$$

$$Ti(SO_4)_2 + 2(NH_4)_2S + 4H_2O = H_4TiO_4\downarrow + 2(NH_4)_2SO_4 + 2H_2S$$

$$Ti(SO_4)_2 + 2Na_2HPO_4 = \underset{(白色)}{Ti(HPO_4)_2\downarrow} + 2Na_2SO_4$$

【$Ti_2(SO_4)_3$】 $Ti_2(SO_4)_3 + 6NaOH = 2Ti(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$

$$Ti_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3 = 2Ti(SO_4)_2 + 2FeSO_4$$

$$Ti_2(SO_4)_3 + 2NH_4Fe(SO_4)_2 = 2Ti(SO_4)_2 + 2FeSO_4 + (NH_4)_2SO_4$$

【$TiOSO_4$】 $TiOSO_4 + 2H_2O = H_2TiO_3\downarrow + H_2SO_4$

$$TiOSO_4 + H_2SO_4 + H_2O_2 = H_2\left[Ti\left\langle{}^{O}_{O}\right.(SO_4)_2\right] + H_2O$$

$$TiOSO_4 + 2NaOH = H_2TiO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

【$(TiO)^{2+}$】 $(TiO)^{2+} + 2H_2O = H_2TiO_3\downarrow + 2H^+$

$$(TiO)^{2+} + H_2O_2 \xlongequal{\text{酸性溶液中}} \underset{\text{(桔黄色)}}{[TiO(H_2O_2)]^{2+}}$$

$$(TiO)^{2+} + 2OH^- + H_2O = \underset{\text{(白色)}}{Ti(OH)_4\downarrow}$$

$$(TiO)^{2+} + 2H^+ + e^- = Ti^{3+} + H_2O$$

【其他含钛的化合物】 $TiCl_2 + 4NH_{3\text{(液体)}} = TiCl_2\cdot 4NH_3$

$$TiS_2 \xrightarrow{\text{在}N_2\text{或}H_2\text{气流中加热}} Ti_2S_3$$

$$2TiN + 4KOH + 2H_2O \xlongequal{\triangle} 2K_2TiO_3 + 2NH_3\uparrow + H_2\uparrow$$

$$2TiN + 4H_2O_{\text{(过热蒸气)}} = 2TiO_2 + 2NH_3 + H_2$$

$$[Ti(H_2O)_6]Cl_3 = [Ti(OH)(H_2O)_5]Cl_2 + HCl$$

9.2 锆 $4d^25s^2$ Zr = 91.22

铪 $5d^26s^2$ Hf = 178.49

锆和铪在性质上非常相似，制取方法也相同，下面以Zr为代表列出其主要反应。

【Zr】 $Zr + 2Cl_2 \xlongequal{红热} ZrCl_4$

$$Zr_{(粉)} + O_2 \xlongequal{200℃燃烧} ZrO_2$$

$$2Zr + N_2 \xlongequal{1000℃以上} 2ZrN$$

注：锆和铪都不与水、稀酸、碱起作用，但易溶于"王水"和HF。

$$2Zr + 6HF \xlongequal{} 2ZrF_3 + 3H_2$$

【ZrO_2】 $ZrO_2 + 2Ca \xlongequal{} 2CaO + Zr$

$$ZrO_2 + 2C + 2Cl_2 \xlongequal{\triangle} ZrCl_4 + 2CO\uparrow$$

$$ZrO_2 + 2NaOH \xlongequal{熔融} \underset{(锆酸钠)}{Na_2ZrO_3} + H_2O$$

$$ZrO_2 + 6HF \xlongequal{} H_2ZrF_6 + 2H_2O$$

（其他卤氢酸无此反应）

$$ZrO_2 + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} Zr(SO_4)_2 + 2H_2O$$

$$ZrO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{} Na_2ZrO_3 + CO_2\uparrow$$

$$ZrO_2 + 2NH_4HF_2 \xlongequal{\triangle} ZrF_4 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

【$Zr(OH)_4$】 $Zr(OH)_4 \xlongequal{灼烧} ZrO_2 + 2H_2O$

$$Zr(OH)_4 + H_2O_2 \xlongequal{} Zr(OH)_3OOH + H_2O$$

注：$Zr(OH)_2$具有两性、碱性大于酸性，但可与浓的强碱作用。

$$Zr(OH)_4 + 2OH^-_{(浓、强)} \xlongequal{} ZrO_3^{2-} + 3H_2O$$

$$Zr(OH)_4 + 4HCl \xlongequal{} ZrCl_4 + 4H_2O$$

$$Zr(OH)_4 + 2HCl \xlongequal{} ZrOCl_2 + 3H_2O$$

$$Zr(OH)_4 + 2H_2SO_4 \xlongequal{} H_2[ZrO(SO_4)_2] + 3H_2O$$

$$Zr(OH)_4 + 2HNO_3 \xlongequal{蒸发} ZrO(NO_3)_2 + 3H_2O$$

【Na_2ZrO_3】 $Na_2ZrO_3 + 3H_2O = Zr(OH)_4\downarrow + 2NaOH$

$Na_2ZrO_3 + 4HCl = ZrOCl_2 + 2NaCl + 2H_2O$

（$CaZrO_3$有类似的反应）

$Na_2ZrO_3 + 2H_2SO_4 = Na_2[ZrO(SO_4)_2] + 2H_2O$

【ZrF_4】 $ZrF_4 + 2H_2O = ZrO_2 + 4HF$

$ZrF_4 + 2H_2SO_4 = Zr(SO_4)_2 + 4HF$

【$ZrCl_3$】 $2ZrCl_3 \xrightarrow{330℃} ZrCl_2 + ZrCl_4$

（无空气存在之下）

【$ZrCl_4$】 $ZrCl_4 + 4Na$（过量）$\xlongequal{500℃} Zr + 4NaCl$

$ZrCl_4$（蒸气）$+ 2Zn$（红热）$= 2ZnCl_2 + Zr$

（氯化锌）

$ZrCl_4 + 2Mg = 2MgCl_2 + Zr$

$ZrCl_4 + H_2O = ZrOCl_2 + 2HCl\uparrow$

（氧氯化锆）

（在潮湿空气中$ZrCl_4$冒烟）

$ZrOCl_2 + (x+1)H_2O = ZrO_2 \cdot xH_2O + 2HCl$

$ZrCl_4 + 9H_2O = ZrOCl_2 \cdot 8H_2O + 2HCl\uparrow$

$2ZrCl_4 + H_2SO_4 + 6H_2O = Zr_2(OH)_6SO_4 + 8HCl$

$Zr_2(OH)_6SO_4 + 3H_2SO_4 = 2Zr(SO_4)_2 + 6H_2O$

$3ZrCl_4 + 4H_3PO_4 = Zr_3(PO_4)_4 + 12HCl$

$ZrCl_4 + 2NaCl = Na_2[ZrCl_6]$

（$Na_2[ZrCl_6]$遇水分解）

【$Zr(SO_4)_2$】 $Zr(SO_4)_2 \xlongequal{灼烧} ZrO_2 + 2SO_3$

$Zr(SO_4)_2 + H_2O = H_2[ZrO(SO_4)_2]$

【$ZrSiO_4$】 $ZrSiO_4 + 4NaOH = Na_2ZrO_3 + Na_2SiO_3 + 2H_2O$

$ZrSiO_4 + K_2SiF_6 = K_2[ZrF_6] + 2SiO_2$

【其他含锆的化合物】

$(NH_4)_2[ZrF_6] \xlongequal{\triangle} ZrF_4 + 2NH_3\uparrow + 2HF\uparrow$

$$Na_2Zr + O_3 + 3H_2O \rightleftharpoons Zr(OH)_4 + 2NaOH$$

$$K_2[ZrF_6] + 4Na = 4NaF + 2KF + Zr$$

（六氟锆酸钾）

$$ZrOCl_2 + H_2O \xlongequal{\text{水浴上蒸发}} ZrO(OH)Cl\downarrow + HCl$$

（白色胶状）

（ZrOBr有类似的反应）

$$ZrOSO_4 + H_2SO_{4(\text{浓})} = Zr(SO_4)_2 + H_2O$$

$$ZrO^{2+} + 4C_6H_5CHOHCOOH = Zr(C_6H_5CHOHCOO)_4\downarrow + 2H^+ + H_2O$$

第十章 钒分族

10.1 钒 $3d^3 4s^2$ V = 50.9414

【V】 $V + 2Cl_2 \xlongequal{\triangle} VCl_4$

$4V + 5O_2 \xlongequal{燃烧} 2V_2O_5$

（还可以生成低价氧化物：VO、VO_2、V_2O_3等）

$2V + 2H_2SO_4 + 2H_2O \xlongequal{} 2VO(SO_4) + 4H_2\uparrow$

（HCl和稀H_2SO_4不跟V起反应，HF可以与V反应）

$3V + 10HNO_{3(冷)} \xlongequal{} 3VO(NO_3)_2 + 4NO\uparrow + 5H_2O$

【V_2O_5】 $2V_2O_5 + 6Cl_2 \xlongequal{600—700℃} 4VOCl_3 + 3O_2\uparrow$

$2V_2O_5 + 5Si \xlongequal{\triangle} 5SiO_2 + 4V$

$V_2O_5 + 5Ca \xlongequal{1900℃} 2V + 5CaO$

（工业上制V）

$3V_2O_5 + 10Al \xlongequal{\triangle} 6V + 5Al_2O_3$

$V_2O_5 + SO_2 \xlongequal{} SO_3 + V_2O_4$

$V_2O_4 + SO_2 + O_2 \xlongequal{} SO_3 + V_2O_5$

$V_2O_5 + 2NaOH \xlongequal{\triangle} 2NaVO_3 + H_2O$

（偏钒酸钠）

$V_2O_5 + 6HCl_{(干燥)} \xlongequal{\triangle} 2VOCl_3 + 3H_2O$

$$V_2O_5 + 10HCl(浓) = 2VCl_4 + Cl_2 + 5H_2O$$

$$V_2O_5 + 6HCl(浓) = 2VOCl_2 + Cl_2 + 3H_2O$$

（氯化氧钒）

$$V_2O_5 + H_2SO_4 = (VO_2)_2SO_4 + H_2O$$

$$2V_2O_5 + 4NaCl + O_2 \xlongequal{焙烧} 4NaVO_3 + 2Cl_2\uparrow$$

$$V_2O_5 + 2FeSO_4 + 3H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + V_2O_2(SO_4)_2 + 3H_2O$$

$$V_2O_5 + 2FeSO_4 + H_2SO_4 = V_2O_4 + Fe_2(SO_4)_3 + H_2O$$

$$V_2O_5 + 4KVO_3 = K_4V_6O_{17}$$

【V_2O_4】 $5V_2O_4 + 2KMnO_4 + 3H_2SO_4 = 5V_2O_5 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$

【V_2O_3】 $2V_2O_3 + 13S \xlongequal[加热至400℃]{隔绝空气} 2V_2S_5 + 3SO_2\uparrow$

$$2V_2S_5 + 15O_2 \xlongequal{\triangle} 2V_2O_5 + 10SO_2$$

【VO_2】 $4VO_2 + O_2 \xlongequal{\triangle} 2V_2O_5$

$$3VO_2 + 4Al \xlongequal{\triangle} 2Al_2O_3 + 3V$$

$$VO_2 + 2KOH = K_2VO_3 + H_2O$$

$$VO_2 + H_2SO_4 = VOSO_4 + H_2O$$

$$2VO_2 + 2HNO_3(浓) \xlongequal{\triangle} V_2O_5 + 2NO_2\uparrow + H_2O$$

【H_3VO_4】 $H_3VO_4 + 2HI + 3HCl = VCl_3 + I_2 + 4H_2O$

$$2H_3VO_4 + H_2S + 4H^+ = [V_2O_2]^{4+} + S\downarrow + 6H_2O$$

（反应后溶液呈蓝色）

$$2H_3VO_4 + HCOOH + 4H^+ = [V_2O_2]^{4+} + CO_2\uparrow + 6H_2O$$

$$VO_4^{3-} + 4H^+ \text{（过量）} \xrightarrow{pH<1} VO_2^+ + 2H_2O$$
（黄色）

$$2VO_4^{3-} + 3Ba^{2+} = Ba_3(VO_4)_2\downarrow$$
（黄色）

$$2H_3VO_4 + 2FeSO_4 + 3H_2SO_4 = 2VO(SO_4) + Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$2H_3VO_4 + 2Fe^{2+} + 6H^+ = [V_2O_2]^{4+} + 2Fe^{3+} + 6H_2O$$

$$VO_4^{3-} + Fe^{2+} + 6H^+ = VO^{2+} + Fe^{3+} + 3H_2O$$

$$2VO_4^{3-} + 3Pb^{2+} = Pb_3(VO_4)_2\downarrow$$
（沉淀不溶于稀CH_3COOH，而溶于稀HNO_3）

【Na_3VO_4】 $$2Na_3VO_4 + H_2O \rightleftharpoons Na_4V_2O_7 + 2NaOH$$
（焦钒酸钠）

$$2Na_3VO_4 + 6HF\text{（气）} \xrightarrow{250℃以上} 2H_3VO_4 + 6NaF$$

$$Na_3VO_4 + 3HgNO_3 \xrightarrow{中性} Hg_3(VO_4)\downarrow + 3NaNO_3$$

【$NaVO_3$】 $$2NaVO_3 + 8HCl + Zn = 2VOCl_2 + ZnCl_2 + 2NaCl + 4H_2O$$

$$2NaVO_3 + 3Zn + 12HCl = 2VCl_2 + 3ZnCl_2 + 2NaCl + 6H_2O$$

$$NaVO_3 + H_2O_2 + HCl = HVO_4 + NaCl + H_2O$$

$$6NaVO_3 + 2HCl \xrightarrow{\triangle} 2NaCl + Na_4V_6O_{17} + H_2O$$

$$2NaVO_3 + H_2S + 6HCl = V_2O_2Cl_4 + 2NaCl + S\downarrow + 4H_2O$$

$$2NaVO_3 + 4KI + 6H_2SO_4 = V_2(SO_4)_3 + 2I_2 + Na_2SO_4 + 2K_2SO_4 + 6H_2O$$

$$NaVO_3 + 3(NH_4)_2S + 3H_2O = NaVS_3 + 6NH_4OH$$

$$2NaVO_3 + CuSO_4 = Cu(VO_3)_2\downarrow + Na_2SO_4$$
（绿色）

$$2VO_3^- + Pb^{2+} = Pb(VO_3)_2\downarrow$$

$$VO_3^- + H^+ \rightleftharpoons HVO_3 \rightleftharpoons VO_2^+ + OH^-$$

【$Na_4V_2O_7$】　$Na_4V_2O_7 + H_2O \rightleftharpoons 2Na_2HVO_4$

$$Na_2HVO_4 \rightleftharpoons NaVO_3 + NaOH$$

$$Na_4V_2O_7 + H_2O \xlongequal{煮沸} 2NaVO_3 + 2NaOH$$

$$Na_4V_2O_7 + CO_2 = 2NaVO_3 + Na_2CO_3$$

$$Na_4V_2O_7 + 5H_2S = Na_4V_2O_2S_5 + 5H_2O$$

$$3Na_4V_2O_7 + 8CH_3COOH = Na_4V_6O_{17} + 8CH_3COONa + 4H_2O$$

$$Na_4V_2O_7 + 4NH_4Cl_{(固)} = 2NH_4VO_3 + 2NH_3 + 4NaCl + H_2O$$
（NH_4VO_3：无色结晶）

$$Na_4V_2O_7 + 2CuSO_4 = Cu_2V_2O_7\downarrow + 2Na_2SO_4$$

【$V_2O_2^{4+}$】　$V_2O_2^{4+} + Br_2 + 6H_2O = 2VO_4^{3-} + 2Br^- + 12H^+$

$$V_2O_2^{4+} + Na_2O_2 + 8OH^- = 2VO_4^{3-} + 2Na^+ + 4H_2O$$

$$5V_2O_2^{4+} + 2MnO_{4(稀液)}^- + 22H_2O \xlongequal{加热稀H_2SO_4} 2Mn^{2+} + 10VO_4^{3-} + 44H^+$$

【VO^{2+}】　$VO^{2+} + ClO_4^- + H_2O = VO_4^{3-} + Cl^- + 2OH^-$

$$2VO^{2+} + S_2O_8^{2-} + 2H_2O \xlongequal{Ag^+催化} 2VO_2^+ + 2SO_4^{2-} + 4H^+$$

$$5VO^{2+} + MnO_4^- + 11H_2O \xlongequal{\triangle} 5VO_4^{3-} + Mn^{2+} + 22H^+$$

$$5VO^{2+} + MnO_4^- + H_2O = 5VO_2^+ + Mn^{2+} + 2H^+$$

$$VO^{2+} + 2C_2O_4^{2-} = VO(C_2O_4)_2^{2-}$$

$$VO^{2+} + H_2Tart^{2-} \longrightarrow VO(Tart)^{2-} + 2H^+$$

（Tart代表酒石酸根离子）

【VO_2^+】 $$2VO_2Cl + 4HCl + Zn = 2VOCl_2 + ZnCl_2 + 2H_2O$$

$$VO_2^+ + 2H^+ + e^- \rightleftharpoons VO^{2+} + H_2O$$

$$VO_2^+ + Fe^{2+} + 2H^+ = VO^{2+} + Fe^{3+} + H_2O$$

$$2VO_2^+ + H_2C_2O_4 + 2H^+ \xlongequal{\triangle} 2VO^{2+} + 2CO_2 + 2H_2O$$

【VCl_3】 $$2VCl_3 + Zn = 2VCl_2 + ZnCl_2$$

【VCl_4】 $$2VCl_4 \xlongequal{常温} 2VCl_3 + Cl_2$$

（VCl_4很不稳定）

$$VCl_4 + H_2O = VOCl_2 + 2HCl$$

（二氯氧化钒）

$$VCl_4 + 4HF \xlongequal{共煮} VF_4 + 4HCl$$

（棕黄色粉末）

$$V^{4+} + Fe^{3+} \underset{酸性}{\overset{碱性}{\rightleftharpoons}} V^{5+} + Fe^{2+}$$

【其他含钒的化合物】 $$6HVO_4 = H_4V_6O_{17} + 3O_2 + H_2O$$

$$2NH_4VO_3 \xlongequal{灼热} 2NH_3\uparrow + V_2O_5 + H_2O\uparrow$$

$$2AgVO_3 + 3SO_2 + O_2 = Ag_2SO_4 + 2VOSO_4$$

$$Ca(VO_3)_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} CaCO_3 + 2NaVO_3$$

$$2VOCl_2 + 4HCl + Zn = 2VCl_3 + ZnCl_2 + 2H_2O$$

$$2VOCl_3 + Zn \xlongequal{400℃} 2VOCl_2 + ZnCl_2$$

（反应在弹管内进行）

$$2VOCl_3 + 3H_2O = V_2O_5 + 6HCl$$

$$2VOBr_3 \xlongequal{室温} 2VOBr_2 + Br_2$$

$$2NH_4VS_3 + 2HCl = V_2S_5\downarrow + 2NH_4Cl + H_2S\uparrow$$

$$2(NH_4)_3VS_4 + 6HCl = V_2S_5 + 6NH_4Cl + 3H_2S$$

$$2VF_4 \xrightarrow{300℃以上} VF_3 + VF_5$$（歧化反应）

$$VCl_2 + H_2 \xrightarrow{\triangle} V + 2HCl$$

$$V_2C + 8HNO_3 = 2VO(NO_3)_2 + CO_2\uparrow + 4NO + 4H_2O$$

$$VOSO_4 + H_2O = VO_2 + H_2SO_4$$

（硫酸钒氧基）

$$10VO(SO_4) + 2KMnO_4 + 22H_2O = 10H_3VO_4 + 7H_2SO_4 + K_2SO_4 + 2MnSO_4$$

$$(VO_2)_2(SO_4)_3 + 6H_2O \xrightarrow[H_2SO_4]{过量H_2O_2} 2H_3V(O_2)O_3 + 3H_2SO_4$$

$$[VO_2(O_2)_2]^{3-} + 6H^+ \rightleftharpoons [V(O_2)]^{3+} + H_2O_2 + 2H_2O$$

10.2　铌　$4d^45s^1$　Nb = 92.90604

【Nb】　注： 游离的Nb化学性质非常稳定，常温时不与空气、水、酸、碱等作用。易溶于HNO_3和HF的混合液中，但不溶于其他酸。在热浓碱中可起反应。

$$2Nb + 5Cl_2 \xrightarrow{200℃} 2NbCl_5$$

$$2Nb_{(丝)} + 5I_{2(蒸气)} \xrightarrow{灼烧} 2NbI_5$$

$$4Nb + 5O_2 \xrightarrow{红热} 2Nb_2O_5$$

$$Nb + 2S \xrightarrow{200℃以上} NbS_2$$

$$2Nb + N_2 = 2NbN$$

$$Nb + C \xrightarrow{\triangle} NbC$$

【Nb_2O_5】 $Nb_2O_5 + H_2(\text{气流}) \xrightarrow{\text{白热}} 2NbO_2 + H_2O$

$Nb_2O_5 + 5C \xrightarrow{\text{在真空中，1600℃}} 2Nb + 5CO$

$3Nb_2O_5 + 10Al = 5Al_2O_3 + 6Nb$

（Ta也有类似的反应）

$Nb_2O_5 + 5CCl_4 \xrightarrow{\text{270℃，隔绝空气}} 2NbCl_5 + 5COCl_2$

$Nb_2O_5 + 5NbC \xrightarrow[\text{在真空中}]{\text{1600—1700℃}} 7Nb + 5CO$

$Nb_2O_5 + Na_2CO_3 \xrightarrow{\text{共熔}} 2NaNbO_3 + CO_2\uparrow$

【H_3NbO_4】 $2H_3NbO_4 \xrightarrow{\text{加脱水剂}} Nb_2O_5 + 3H_2O$

（用同样方法可制取Ta_2O_5）

【Na_5NbO_5】 $12Na_5NbO_5 + 55H_2O =$

$7Na_2O\cdot 6Nb_2O_5\cdot 32H_2O + 46NaOH$

【$Fe(NbO_3)_2$】 $Fe(NbO_3)_2 + 10NaOH = 2Na_5NbO_5$

$+ FeO + 5H_2O$

【K_2NbOF_5】 $K_2NbOF_5 + 2HF = K_2NbF_7 + H_2O$

【NbF_5】 $NbF_5 + 5Na = Nb + 5NaF$

（工业上制取Nb）

【$NbCl_5$】 $NbCl_5 + 5HF(\text{无水}) \xrightarrow{\triangle} NbF_5 + 5HCl$

【$NbOCl_3$】 $5NbOCl_3 \xrightarrow{\text{高温}} Nb_2O_5 + 3NbCl_5$

$NbOCl_3 + Mg \xrightarrow{\triangle} MgO + NbCl_3$

$2NbOCl_3 + 3H_2O = Nb_2O_5 + 6HCl$

【K_2NbF_7】 $K_2NbF_7 + 5Na = Nb + 2KF + 5NaF$

（K_2TaF_7有类似的反应）

$K_2NbF_7 + H_2O = K_2NbOF_5 + 2HF$

【NbS_2】 $4NbS_2 + 13O_2(\text{空气}) \xrightarrow{\text{燃烧}} 2Nb_2O_5 + 8SO_2\uparrow$

（白粉末）

10.3　钽　$5d^36s^2$　Ta＝180.9479

注：游离的Ta化学性质非常稳定，常温时不与空气、水、酸、碱等作用。钽能与HF慢慢作用，在150℃以上才与浓H_2SO_4反应。钽易溶于HNO_3和HF的混合液中，在其他酸中不溶解。热、浓碱可与它反应。

$$2Ta+5F_2 \xlongequal{常温} 2TaF_5$$

$$Ta+2S \xlongequal{200℃} TaS_2$$

$$Ta+C \xlongequal{\triangle} TaC$$

【Ta_2O_5】 $Ta_2O_5+5CCl_4 \xlongequal{270℃隔绝空气} 2TaCl_5+5COCl_2$

$$Ta_2O_5+3Na_2CO_3 \xlongequal{共熔} 2Na_3TaO_4+3CO_2$$

【$Ta(OH)_3$】 $Ta(OH)_3+2H_2O \xlongequal{煮沸} Ta(OH)_5+H_2\uparrow$

【$TaCl_2$】 $2TaCl_2+2H_2O_{(冷)} = 2Ta^{3+}+4Cl^-+2OH^-+H_2\uparrow$

【$TaCl_3$】 $3TaCl_3 \xlongequal[500—600℃]{在真空中加热} 2TaCl_2+TaCl_5$（歧化反应）

$$TaCl_3+TaCl_5 \rightleftharpoons 2TaCl_4$$

【$TaCl_4$】 $2TaCl_4+5H_2O = TaCl_3+Ta(OH)_5+5HCl$

【$TaCl_5$】 $3TaCl_5+2Al \xlongequal{300℃} 3TaCl_3+2AlCl_3$

$$TaCl_5+5HF_{(液态)} \xlongequal{\triangle} TaF_5+5HCl$$

【TaS_2】 $4TaS_2+13O_2 \xlongequal{燃烧} \underset{(白色粉末)}{2Ta_2O_5}+8SO_2\uparrow$

第十一章 铬分族

11.1 铬 $3d^5 4s^1$ Cr＝51.996

【Cr】 **注**：铬与冷的浓HNO_3、冷的稀HNO_3均无反应，成"钝态"，因生成Cr_2O_3保护层。成"钝态"后的铬不再与稀酸反应。高温时，铬能与卤素、S、N_2、C、Si、B等直接化合。

$$2Cr_{(红热)} + 3Cl_{2(干燥)} \xlongequal{550℃} 2CrCl_3$$

（Br_2、I_2均有类似的反应）

$$4Cr + 3O_2 \xlongequal{强热} \underset{(深绿色)}{2Cr_2O_3} + 546千卡$$

$$2Cr + 3S \xlongequal{高温} Cr_2S_3$$

$$4Cr + N_2 \xlongequal{高温} 2Cr_2N$$

$$4Cr + C \xlongequal{高温} Cr_4C$$

$$3Cr + 2C \xlongequal{高温} Cr_3C_2 \text{（主要反应）}$$

$$2Cr + 3H_2O_{(气)} \xlongequal{\triangle} Cr_2O_3 + 3H_2\uparrow$$

$$Cr + 6CO \xlongequal{高温高压} Cr(CO)_6$$

$$Cr_{(红热)} + 2HX \xlongequal{\triangle} CrX_2 + H_2\uparrow$$

（X代表卤素元素）

$$Cr + 2HCl_{(稀)} \xlongequal{无O_2情况下} CrCl_2 + H_2\uparrow$$

（蓝色溶液）

（HBr、HI均可发生类似的反应）

$$4CrCl_2 + 4HCl + O_2 \xlongequal{有O_2时} 4CrCl_3 + 2H_2O$$

$$2Cr + 6H_2SO_{4(浓)} = Cr_2(SO_4)_3 + 3SO_2 + 6H_2O$$

$$Cr + H_2SO_{4(稀)} = CrSO_4 + H_2\uparrow$$

$$2Cr + 6H_3PO_4 = 2Cr(H_2PO_4)_3 + 3H_2\uparrow$$

【Cr_2O_3】 $2Cr_2O_3 + 3O_2 \xlongequal{KMnO_4酸性溶液} 4CrO_3$

$$Cr_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \xlongequal{高温} 2CrCl_3 + 3CO$$

$$Cr_2O_3 + 2NaOH = 2NaCrO_2 + H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 6HCl = 2CrCl_3 + 3H_2O$$

$$2Cr_2O_{3(固)} + 6H_2S_{(气)} \xlongequal{白热} 2Cr_2S_3 + 6H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 2HClO_{4(浓)} = 2CrO_3 + Cl_2 + 2O_2 + H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 3H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

（桃红色）

$$Cr_2O_3 + 6HNO_{3(稀)} = 2Cr(NO_3)_3 + 3H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 2HNO_{3(浓)} \xlongequal{共热} 2CrO_2 + 2NO_2\uparrow + H_2O$$

$$4CrO_2 \xlongequal{\triangle} 2Cr_2O_3 + O_2\uparrow$$

$$4Cr_2O_3 + 16KClO_3 \xlongequal{共熔} 8K_2CrO_4 + 14ClO_2 + Cl_2$$

（熔化）

$$Cr_2O_3 + KClO_3 + 4KOH = 2K_2CrO_4 + KCl + 2H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 3K_2S_2O_7 \xlongequal{熔融} Cr_2(SO_4)_3 + 3K_2SO_4$$

$$Cr_2O_3 + 3KNO_3 + 4KOH = 2K_2CrO_4 + 3KNO_2 + 2H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 2Na_2CO_3 + 3KNO_3 = 2Na_2CrO_4 + 3KNO_2 + 2CO_2\uparrow$$

$$Cr_2O_3 + 3Na_2B_4O_7 \xlongequal{共熔} 6NaBO_2 + 2Cr(BO_2)_3$$

$$Cr_2O_3 + 2KMnO_4 \xlongequal{共沸} 2MnO_2\downarrow + K_2Cr_2O_7$$

$$2Cr_2O_3 + 8KSCN \xlongequal{共熔} 2K_2Cr_2S_4 + 4KCN + 2CO_2\uparrow + 2CO\uparrow + 2N_2\uparrow$$

$$Cr_2O_3 + 6K_3Fe(CN)_6 + 6KOH = 2CrO_3 + 6K_4Fe(CN)_6 + 3H_2O$$

$$Cr_2O_3 + 3CCl_4 \xlongequal{共热} \underset{(红紫色)}{2CrCl_3} + 3COCl_2$$

【CrO_2】 $$CrO_2 + 2KOH + H_2O_2 = K_2CrO_4 \cdot 2H_2O$$

【CrO_3】 $$\underset{(橙红色)}{4CrO_3} \xlongequal{434-511℃} \underset{(绿色)}{2Cr_2O_3} + 3O_2\uparrow$$

$$CrO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2CrO_4$$

$$H_2CrO_4 + CrO_3 \rightleftharpoons H_2Cr_2O_7$$

$$2CrO_3 + H_2O = H_2Cr_2O_7$$

$$3CrO_3 + H_2O = H_2Cr_3O_{10}$$

$$2CrO_3 + H_2O_2 = Cr_2O_7 + H_2O$$

$$Cr_2O_7 + 4H_2O_2 = Cr_2O_3 + 4H_2O + 4O_2\uparrow$$

$$CrO_3 + 3H_2O_2 + 3NH_3 = (NH_3)_3CrO_4 + 3H_2O + O_2\uparrow$$

$$CrO_{3(冷稀)} + H_2O_2 + Ba(OH)_2 = BaCrO_5 + 2H_2O$$

$$2CrO_3 + 3H_2O_2 + 6HClO_4 \xlongequal{\triangle} 2Cr(ClO_4)_3 + 3O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$2CrO_3 + 3H_2O_2 + 3H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$2CrO_3 + 3SO_2 \xlongequal{\quad} 3SO_3 + Cr_2O_3$$

$$CrO_3 + 2KOH \xlongequal{\quad} K_2CrO_4 + H_2O$$

$$2K_2CrO_4 + 2KOH + \underset{(过量)}{7H_2O_2(30\%)} \xlongequal{\quad} 2K_3CrO_8 + 8H_2O$$

$$CrO_3 + 4NaOH(微过量) + 11H_2O \xlongequal{\quad} Na_4CrO_5 \cdot 13H_2O\downarrow$$

$$CrO_3(50\%) + \underset{(冷却至0℃)}{2NH_4OH} \xlongequal{\quad} (NH_4)_2CrO_4 + H_2O$$

$$2(NH_4)_2CrO_4 + 2NH_4OH + 7H_2O_2(30\%) \xlongequal{\quad} 2(NH_4)_3CrO_8 + 8H_2O$$

$$CrO_3(固) + 3NH_3(氨水) \xlongequal{\quad} \underset{(棕色)}{CrO_3 \cdot 3NH_3}$$

$$2CrO_3 + 12HCl(酸) \xlongequal{\quad} 2CrCl_3 + 3Cl_2 + 6H_2O$$

$$CrO_3 + 2HCl \xlongequal{小量浓H_2SO_4} CrO_2Cl_2 + H_2O$$

$$CrO_3(固) + 2HBr(干燥) \xlongequal{CCl_4溶液中} CrO_2Br_2 + H_2O$$

$$2CrO_3 + \underset{(使HI氧化)}{6HI(浓液)} \xlongequal{\quad} 2Cr(OH)_3 + 3I_2$$

$$2CrO_3(干、热) + 6H_2S \xlongequal{\quad} Cr_2S_3 + 6H_2O + 3S$$

$$4CrO_3 + 6H_2SO_4 \xlongequal{30℃以下} 2Cr_2(SO_4)_3 + 3O_2 + 6H_2O$$

$$2CrO_3(热、浓) + BaCl_2 + H_2O \xlongequal{\quad} BaCr_2O_7\downarrow + 2HCl$$

$$3CrO_3(固) + 2FeCl_3(固) \xlongequal{强热} Fe_2O_3 + 3CrO_2Cl_2$$

$$4CrO_3 + 6SnCl_2 \xlongequal{\quad} 3SnCl_4 + 3SnO_2 + 2Cr_2O_3$$

$$CrO_3(浓液) + CaCO_3 \xlongequal{\quad} CaCrO_4 + CO_2$$
(溶液蒸发得结晶)

$$2CrO_3 + 2C_2H_5OH \xlongequal{\quad} CH_3CHO + Cr_2O_3 + CH_3COOH + 2H_2O$$

【Cr_2O_7】 $Cr_2O_7 + 6HCl \xlongequal{} 2CrCl_3 + 2O_2\uparrow + 3H_2O$

$Cr_2O_7 + 6HCl + 4H_2O_2 \xlongequal{} 2CrCl_3 + 4O_2\uparrow + 7H_2O$

【CrO_4】 $2CrO_4 + H_2O_2 \xlongequal{} 2HCrO_5$

$2CrO_4 + 3H_2O_2 \xlongequal{} 2H_3CrO_7$

$2CrO_4 + 5H_2O_2 \xlongequal{} 2H_3CrO_8 + 2H_2O$

【$Cr(OH)_2$】 $2Cr(OH)_2 \xlongequal{\triangle} Cr_2O_3 + H_2\uparrow + H_2O$

$Cr(OH)_2 + H_2SO_4 \xlongequal{} CrSO_4 + 2H_2O$

【$Cr(OH)_3$】 $Cr^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons Cr(OH)_3 \rightleftharpoons H_2O + HCrO_2$

$\rightleftharpoons H_2O + CrO_2^- + H^+$

$Cr(OH)_{3(\text{新鲜的})} + 3H_2O_{2(30\%)} \xlongequal{0℃}$

$Cr(OOH)_3 + 3H_2O$

（过络酸，红色）

$Cr(OH)_3 + NaOH_{(\text{冷、过量})} \xlongequal{} NaCrO_2 + 2H_2O$

$Cr(OH)_3 + 3HCl \xlongequal{} CrCl_3 + 3H_2O$

$4Cr(OH)_3 + 7H_2SO_{4(\text{浓、过量})} \xlongequal{} Cr_4H_2(SO_4)_7$

$+ 12H_2O$

$2Cr(OH)_3 + 3NaNH_4HPO_4 \xlongequal{} 2CrPO_4 + 3NH_3\uparrow$

$+ Na_3PO_4 + 6H_2O$

$2Cr(OH)_3 + 3Na_2B_4O_7 \xlongequal{} 2Cr(BO_2)_3 + 6NaBO_2$

$+ 3H_2O$

$2Cr(OH)_3 + 2KMnO_4 \xlongequal{} K_2CrO_4 + H_2CrO_4$

$+ 2MnO_2 + 2H_2O$

$Cr(OH)_3 + 2KMnO_4 + 3H^+ \xlongequal{} 2MnO_2 + K_2CrO_4$

$+ 3H_2O$

【H_2CrO_4】 $2H_2CrO_4 + 3H_2O_2 \xlongequal{} 2Cr(OH)_3 + 3O_2\uparrow + 2H_2O$

$$2H_2CrO_4 + H_2O_2 + 14HCl = 2CrCl_3 + 4Cl_2\uparrow + 10H_2O$$

$$2H_2CrO_4 + 3H_2S + 3H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3S\downarrow + 8H_2O$$

$$3H_2CrO_4 + 6HCl + 6Na_2S_2O_3 = 3Na_2S_4O_6 + 6NaCl + Cr_2(OH)_4CrO_4 + 4H_2O$$

$$2H_2CrO_4 + 12HCl + 6Na_2S_2O_3 = 3Na_2S_4O_6 + 2CrCl_3 + 6NaCl + 8H_2O$$

$$2H_2CrO_4 + 6HCl + 3Na_2S_2O_3 = 3Na_2SO_4 + 2CrCl_3 + 3S + 5H_2O$$

$$2H_2CrO_4 + 6FeSO_4 + 6H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2O$$

$$2Cr(OH)_4^- + 3H_2O_2 + 2OH^- = 2CrO_4^{2-} + 8H_2O$$

$$2Cr(OH)_4^- + 2OH^- + 3ClO^- = 2CrO_4^{2-} + 3Cl^- + 5H_2O$$

【$KCrO_2$】　$KCrO_2 + KMnO_4 + H_2O = K_2CrO_4\downarrow + MnO(OH)_2\downarrow$

【$NaCrO_2$】　$2NaCrO_2 + 3Br_2 + 8NaOH = 2Na_2CrO_4 + 6NaBr + 4H_2O$

（Cl_2也有类似的反应）

$$NaCrO_2 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} Cr(OH)_3\downarrow + NaOH$$

$$2NaCrO_2 + 3H_2O_2 + 2NaOH = 2Na_2CrO_4 + 4H_2O$$

$$2NaCrO_2 + 3Na_2O_2 + 2H_2O = 2Na_2CrO_4 + 4NaOH$$

$$2NaCrO_2 + 3NaOCl + 2NaOH = 2Na_2CrO_4 + 3NaCl + H_2O$$

【K_2CrO_4】　$2K_2CrO_4 + 7H_2O_2 + 2KOH = 2K_3CrO_8 + 8H_2O$

$$4K_3CrO_8 + 2H_2O = 4K_2CrO_4 + 4KOH + 7O_2\uparrow$$

$$2K_2CrO_4 + 3H_2S + 2H_2O = 2Cr(OH)_3 + 4KOH + 3S$$

$$2K_2CrO_4 + H_2SO_{4(稀)} \rightleftharpoons K_2Cr_2O_7 + K_2SO_4 + H_2O$$

$$2K_2CrO_4 + 2NH_4Cl \xlongequal{\triangle} K_2Cr_2O_7 + 2KCl + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$3K_2CrO_4 + 6NaCl + 12H_2SO_4 = 6NaHSO_4 + 6KHSO_4 + 3CrO_2Cl_2 + 6H_2O$$

$$2K_2CrO_4 + 6KI + 16HCl = 10KCl + 2CrCl_3 + 3I_2 + 8H_2O$$

$$2K_2CrO_4 + 3(NH_4)_2S + 8H_2O = 2Cr(OH)_3\downarrow + 4KOH + 6NH_4OH + 3S$$

$$4K_2CrO_{4(固)} + 2Na_2CO_{3(干的)} + 4S_{2(固)} \xlongequal{熔化} 2K_2CO_3 + 2Na_2Cr_2S_4 + 2K_2O + 7O_2\uparrow$$

【Na_2CrO_4】 $Na_2CrO_4\cdot 10H_2O \xrightleftharpoons{19.5℃} Na_2CrO_4\cdot 6H_2O \xrightleftharpoons{26.9℃} Na_2CrO_4\cdot 4H_2O \xrightleftharpoons{62.8℃} Na_2CrO_4$

$$2Na_2CrO_4 + 2CO_2 + H_2O = Na_2Cr_2O_7 + 2NaHCO_3\downarrow$$

$$2Na_2CrO_4 + 2NaOH + 7H_2O_2 = 2Na_3CrO_8 + 8H_2O$$

$$4Na_3CrO_8 + 2H_2O = 4NaOH + 4Na_2CrO_4 + 7O_2\uparrow$$

$$2Na_2CrO_4 + 2HF = Na_2Cr_2O_7 + 2NaF + H_2O$$

$$2Na_2CrO_4 + 16HCl_{(浓)} = 4NaCl + 2CrCl_3 + 3Cl_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2Na_2CrO_4 + 2HCl_{(浓)} \xlongequal{冷} Na_2Cr_2O_7 + 2NaCl + H_2O$$

$$2Na_2CrO_4(\text{固}) + 10HCl(\text{干燥}) \xlongequal{\text{加热至红热}} Cr_2O_3 + 4NaCl + 3Cl_2\uparrow + 5H_2O$$

$$2Na_2CrO_4 + H_2SO_4(\text{浓}) \xlongequal{\quad} Na_2Cr_2O_7 + Na_2SO_4 + H_2O$$

$$2Na_2CrO_4 + 2HNO_3 \xlongequal{\quad} Na_2Cr_2O_7 + 2NaNO_3 + H_2O$$

$$3Na_2CrO_4 + 6NaCl + 12H_2SO_4 \xlongequal{\quad} 12NaHSO_4 + 3CrO_2Cl_2 + 6H_2O$$

【CrO_4^{2-}】　$CrO_4^{2-} + 2H_2O + 3e^- \xrightleftharpoons{\text{加醋酸}} CrO_2^- + 4OH^-$

$$2CrO_4^{2-} + 2H^+ \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 2OH^- \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-} + H_2O$$

$$2CrO_4^{2-} + 3S_2O_3^{2-} + 5H_2O \xlongequal{\text{中性}} 3SO_4^{2-} + 2Cr(OH)_3 + 4OH^- + 3S$$

$$8CrO_4^{2-} + 3S_2O_3^{2-} + 34H^+ \xlongequal{\quad} 6SO_4^{2-} + 8Cr^{3+} + 17H_2O$$

$$CrO_4^{2-} + Hg_2(NO_3)_2 \xlongequal{\text{冷时}} \underset{(\text{棕色})}{Hg_2CrO_4\downarrow} + 2NO_3^-$$

$$2CrO_4^{2-} + 3AsO_3^{3-} + 10H^+ \xlongequal{\quad} 3AsO_4^{3-} + 2Cr^{3+} + 5H_2O$$

$$CrO_4^{2-} + 2Ag^+ \xlongequal{\text{加醋酸}} \underset{(\text{砖红色})}{Ag_2CrO_4\downarrow}$$

$$CrO_4^{2-} + Pb^{2+} \xlongequal{\text{加醋酸}} \underset{(\text{黄色})}{PbCrO_4\downarrow}$$

$$2PbCrO_4 + 3SO_2 \xlongequal{\quad} 2PbO + Cr_2O_3 + 3SO_3$$

【$K_2Cr_2O_7$】　$4K_2Cr_2O_7 \xlongequal{\text{灼烧}} 4K_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2\uparrow$

$$K_2Cr_2O_7 + S = Cr_2O_3 + K_{_}SO_4$$

$$K_2Cr_2O_7\,(\text{干燥}) + 2C \xlongequal{\triangle} Cr_2O_3 + K_2CO_3 + CO\uparrow$$

$$2K_2Cr_2O_7 + 3C + 8H_2SO_4 = 2Cr_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 3CO_2\uparrow + 8H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + H_2O_2 + 2HCl = 2KCl + Cr_2O_7 + 2H_2O$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 4H_2O_2 + 2H^+ \xlongequal{\text{冷}} 2CrO_5 + 5H_2O$$

（在水中不稳定，可用乙醚萃取）

$$8Cr_2O_7^{2-} + 3H_2O_2 + 10OH^- = 16CrO_4^{2-} + 8H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3H_2O_2 + 4H_2SO_4\,(\text{稀}) = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3O_2\uparrow + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 5H_2O_2 = 2KH_2CrO_7 + 3H_2O$$

$$4KH_2CrO_7 = 2K_2Cr_2O_7 + 5O_2\uparrow + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3SO_2 + H_2SO_4 \xlongequal{\text{冷}} K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3SO_2 + H_2SO_4 = K_2SO_4 \cdot Cr_2(SO_4)_3 + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6Fe_3O_4 + 31H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 9Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 31H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2KOH = 2K_2CrO_4 + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2NH_4OH\,(\text{浓、热}) \xlongequal{\text{冷却}} 2NH_4KCrO_4 + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2HF\,(\text{浓或气体}) \xlongequal{\text{加热至沸}} 2CrO_3 + 2KF + H_2O$$

（反应以后，冷却）

$$K_2Cr_2O_7 + 14HCl\,(\text{浓}) \xlongequal{\triangle} 2KCl + 2CrCl_3 + 3Cl_2\uparrow + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 14HI \xlongequal{共煮沸} 2CrI_3 + 2KI + 3I_2 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_{7(粉末)} + 2HI_{(热、浓)} = 2KCrO_3\downarrow + I_2 + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 4H_2S = Cr_2O_3 + K_2S + 3S + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3H_2S + 4H_2SO_4 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3S + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3H_2SO_3 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 3SO_3^{2-} + 8H^+ = 2Cr^{3+} + 3SO_4^{2-} + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 4H_2SO_3 = K_2SO_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_3 = K_2SO_3 + Cr_2(S_2O_6)_3 + 7H_2O$$

$$2K_2Cr_2O_7 + 8H_2SO_{4(浓)} = 2K_2SO_4 + 2Cr_2(SO_4)_3 + 3O_2\uparrow + 8H_2O$$

$$K_2Cr_2O_{7(浓)} + H_2SO_{4(浓、过量)} = K_2SO_4 + \underset{(深红色)}{2CrO_3} + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2HNO_{3(浓)} \xlongequal{\triangle} 2KNO_3 + 2CrO_3 + H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3HNO_2 + 5HNO_3 = 2Cr(NO_3)_3 + 2KNO_3 + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3H_2C_2O_4 + 4H_2SO_4 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 6CO_2\uparrow + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2CaF_{2(固)} + 3H_2SO_{4(发烟)} \xlongequal{加热蒸馏} 2CrO_2F_2 + 2CaSO_4 + K_2SO_4 + 3H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6KCl + 7H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 3Cl_2 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 4KCl_{(适量)} + 3H_2SO_{4(浓、过量)} \xlongequal{\quad} 2CrO_2Cl_2\uparrow + 3K_2SO_4 + 3H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 4NaCl_{(无水)} + 6H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} 2CrO_2Cl_2 + 2KHSO_4 + 4NaHSO_4 + 3H_2O$$

$$K_2Cr_2O_{7(粉)} + 4NaCl_{(固)} + 3H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} 2CrO_2Cl_2 + 2Na_2SO_4 + K_2SO_4 + 3H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6NaCl + 7H_2SO_4 \xlongequal{\quad} 3Na_2SO_4 + K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3Cl_2 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 4NaCl + 3H_2S_2O_7 \xlongequal{发烟H_2SO_4} 2CrO_2Cl_2\uparrow + K_2SO_4 + 2Na_2SO_4 + 3H_2SO_4$$

$$6CrO_2Cl_2 + 3H_2S_2O_7 \xlongequal{\quad} 2CrO_3 + 2Cr_2(SO_4)_3 + 6Cl_2 + 3H_2O$$

$$CrO_2Cl_2 + 4OH^- \rightleftharpoons CrO_4^{2-} + 2Cl^- + 2H_2O$$

$$CrO_2Cl_2 + 2H_2O \rightleftharpoons H_2CrO_4 + 2HCl$$

$$K_2Cr_2O_7 + 4NaCl + 3H_2S_2O_7 \xlongequal{发烟H_2SO_4} 2KHSO_4 + 4NaHSO_4 + 2CrO_2Cl_2$$

$K_2Cr_2O_{7(固)}$与$NH_4Cl_{(固)}$混合加热：

$$2K_2Cr_2O_7 + 2NH_4Cl + 2HCl \xlongequal{\triangle} 4KCl + 2Cr_2O_3 + NO_2 + NO + 5H_2O$$

（首先$NH_4Cl \xlongequal{\triangle} NH_3\uparrow + HCl$）

$$2K_2Cr_2O_{7(固)} + 2CaCl_{2(无水)} \xlongequal{红热} 4KCl + 3O_2\uparrow + 2(CrO\cdot O)_2Ca$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2BaCl_2 + H_2O \xlongequal{} 2BaCrO_4\downarrow + 2KCl + 2HCl$$

($SrCl_2$、$CaCl_2$ 也有类似的反应)

$$2K_2Cr_2O_7(\text{固}) + 2BaCl_2(\text{无水}) \xlongequal{\text{加至红热}} 2(CrO\cdot O)_2Ba + 4KCl + 3O_2\uparrow$$

$$2K_2Cr_2O_7(\text{固}) + 2MgCl_2(\text{固}) \xlongequal{\text{红热}} 4KCl + 2(CrO\cdot O)_2Mg + 3O_2\uparrow$$

$$2K_2Cr_2O_7(\text{固}) + 2ZnCl_2(\text{固}) \xlongequal{\text{红热}} 4KCl + 2(CrO\cdot O)_2Zn + 3O_2\uparrow$$

$$2K_2Cr_2O_7(\text{固}) + 2FeCl_2(\text{固}) \xlongequal{\text{红热}} 4KCl + 2(CrO\cdot O)_2Fe + 3O_2\uparrow$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6FeCl_2 + 14HCl \xlongequal{} 6FeCl_3 + 2KCl + 2CrCl_3 + 7H_2O$$

$$2K_2Cr_2O_7(\text{固}) + 2CuCl_2(\text{无水}) \xlongequal{\text{红热}} 4KCl + 2(CrO\cdot O)_2Cu + 3O_2\uparrow$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6KBr + 7H_2SO_4 \xlongequal{} Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 3Br_2 + 7H_2O$$

$$3K_2Cr_2O_7 + KI \xlongequal{} 3K_2CrO_4 + 3CrO_2 + KIO_3$$

$$5K_2Cr_2O_7(\text{浓}) + 6KI \xlongequal{\text{煮沸}} 8K_2CrO_4 + Cr_2O_3 + 3I_2$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6KI + 14HCl \xlongequal{} 8KCl + 2CrCl_3 + 3I_2 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6KI + 7H_2SO_4 \xlongequal{} Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 3I_2 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + AgI + 5H_2SO_4 \xlongequal{煮沸} 2KHSO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + AgIO_3 + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3(NH_4)_2S + 7H_2O \xlongequal{} 2Cr(OH)_3\downarrow + 2KOH + 6NH_4OH + 3S\downarrow$$

$$Cr_2O_7^{2-} + 3S^{2-} + 14H^+ \xlongequal{} 2Cr^{3+} + 3S\downarrow + 7H_2O$$

$$3K_2Cr_2O_7 + KIO_3 + 5KI \xlongequal{} 6K_2CrO_4 + 3I_2$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3K_2SO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{} 4K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 4H_2O$$

$$2K_2Cr_2O_7 + 3Na_2SO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{} 3Na_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 4H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 6FeSO_4 + 7H_2SO_4 \xlongequal{} 3Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2FeSO_4 + H_2S + 6H_2SO_4 \xlongequal{} K_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 2SO_2\uparrow + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3NaNO_2 + 4H_2SO_4 \xlongequal{} 3NaNO_3 + Cr_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 4H_2O$$

$$2K_2Cr_2O_{7(固)} + 4KNO_{3(固)} \xlongequal{熔化} 4K_2CrO_4 + 4NO_2 + O_2$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2AgNO_3 + Hg(CN)_2 \xlongequal{} \underset{(红色结晶)}{Ag_2Cr_2O_7\cdot Hg(CN)_2\downarrow} + 2KNO_3$$

$$K_2Cr_2O_7 + K_2CO_3 \xlongequal{} 2K_2CrO_4 + CO_2\uparrow$$

$$K_2Cr_2O_7 + Na_2CO_3 \xlongequal{煮沸} K_2CrO_4 + Na_2CrO_4 + CO_2\uparrow$$

$$K_2Cr_2O_7 + CaCO_3 \xlongequal{} K_2CrO_4 + CaCrO_4 + CO_2\uparrow$$

$$K_2Cr_2O_7 + MgCO_3 \xlongequal{煮沸} K_2CrO_4 + MgCrO_4 + CO_2\uparrow$$

$$K_2Cr_2O_3 + 4KHC_2O_4 + 5H_2C_2O_4 \xlongequal{\text{煮沸}} 2K_3Cr(C_2O_4)_3 + 6CO_2 + 7H_2O$$

$$K_2Cr_2O_7 + 2Pb(CH_3COO)_2 + H_2O \rightleftharpoons K_2(CH_3COO)_2 + 2CH_3COOH + 2PbCrO_4$$

$$K_2Cr_2O_7 + 3C_2H_5OH + 4H_2SO_4 = K_2SO_4 + Cr_2(SO_4)_3 + 3CH_3CHO + 7H_2O$$

$$2K_2Cr_2O_7 + 3CH_3OH + 8H_2SO_4 = 2Cr_2(SO_4)_3 + 3HCOOH + 2K_2SO_4 + 11H_2O$$

【$Na_2Cr_2O_7$】　$$4Na_2Cr_2O_7 \xlongequal{\text{煅烧}400℃} 4Na_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2\uparrow$$

（$K_2Cr_2O_7$有类似的反应）

$$Na_2Cr_2O_7 + S = Na_2SO_4 + Cr_2O_3$$

$$Na_2Cr_2O_{7(\text{干})} + 2C \xlongequal{\triangle} Cr_2O_3 + Na_2CO_3 + CO$$

$$Na_2Cr_2O_7 + 2NaOH = 2Na_2CrO_4 + H_2O$$

$$Na_2Cr_2O_7\cdot 2H_2O_{(\text{固})} + 2H_2SO_{4(\text{浓})} = 2NaHSO_4 + 2CrO_3 + 3H_2O$$

$$Na_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 + 6NaI = Cr_2(SO_4)_3 + 4Na_2SO_4 + 3I_2 + 7H_2O$$

$$Na_2Cr_2O_{7(\text{很浓})} + 7H_2C_2O_{4(\text{热、饱和})} = 6CO_2\uparrow + 2[Na(H_2O)_2\cdot Cr(C_2O_4)_2] + 3H_2O$$

$$Na_2Cr_2O_7 + 2KCl \overset{\triangle}{\rightleftharpoons} K_2Cr_2O_7 + 2NaCl$$

$$Na_2Cr_2O_7 + 2BaCl_2 + 2NH_4OH = 2BaCrO_4 + 2NaCl + 2NH_4Cl + H_2O$$

$$Na_2Cr_2O_7 + 6KI + 14HCl = 2CrCl_3 + 2NaCl + 6KCl + 3I_2 + 7H_2O$$

【$CrCl_2$】　**注：**$CrCl_2$ 与 NH_3 能形成一系列的加合物如

$CrCl_2 \cdot nNH_3 (n=1,2,3,4,5)$

$$Cr^{2+} + 2NH_4OH = Cr(OH)_2\downarrow + 2NH_4^+$$

$$CrCl_2 + 2NaOH = 2NaCl + Cr(OH)_2\downarrow$$

$$4CrCl_2 + 4HCl + O_2 \xlongequal{有O_2存在} 4CrCl_3 + 2H_2O$$

$$2Cr^{2+} + Fe^{2+} = Fe_{(固)} + 2Cr^{3+}$$

【$CrCl_3$】 $4CrCl_3 + 3O_2 \xlongequal{650^0—700℃} 2Cr_2O_3 + 6Cl_2\uparrow$

$$2Cr^{3+} + 3Cl_2 + 8H_2O \rightleftharpoons 2CrO_4^{2-} + 6Cl^- + 16H^+$$

$$CrCl_3 + NH_3 = CrN + 3HCl$$

$$CrCl_{3(干燥)} + 6NH_{3(液态)} = CrCl_3 \cdot 6NH_3$$

$$CrCl_3 \cdot 6NH_3 + 6H_2O \rightleftharpoons Cr(OH)_3\downarrow + 3NH_4OH + 3NH_4Cl$$

$$Cr^{3+} + 6NH_3 \rightleftharpoons Cr(NH_3)_6^{3+}$$

$$CrCl_3 + 3H_2O \rightleftharpoons Cr(OH)_3\downarrow + 3HCl$$

$$CrCl_3 + H_2O = CrCl_2OH + HCl$$

$$2CrCl_3 + 3H_2O_{2\,(6\%)} + 10NaOH_{\,(过量)} \xlongequal{煮沸} 2Na_2CrO_4 + 6NaCl + 8H_2O$$

$$2Cr^{3+} + 3Na_2O_2 + 4OH^- = 2CrO_4^{2-} + 6Na^+ + 2H_2O$$

$$2CrCl_3 + 3ZnO + 3H_2O = 2Cr(OH)_3 + 3ZnCl_2$$

$$2Cr^{3+} + 3PbO_2 + H_2O = Cr_2O_7^{2-} + 3Pb^{2+} + 2H^+$$

$$2CrCl_3 + 6KOH = 2Cr(OH)_3\downarrow + 6KCl$$

$$CrCl_3 + 3NH_3 + 3H_2O = \underset{(淡绿色)}{Cr(OH)_3\downarrow} + 3NH_4Cl$$

$$CrCl_{3(无水)} + 3HI_{(浓液)} = CrI_3 + 3HCl$$

$$2CrCl_3 + 3Na_2S + 6H_2O = 2Cr(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow + 6NaCl$$

$$2CrCl_3 + 2Na_2S_2O_3 + 2H_2O = 2Cr(OH)_2Cl + 2SO_2\uparrow + 4NaCl + 2S$$

$$2CrCl_3 + Na_2S_2O_3 + H_2O = 2Cr(OH)Cl_2 + SO_2 + 2NaCl + S$$

$$2CrCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O = 2Cr(OH)_3\downarrow + 6NaCl + 3CO_2\uparrow$$

$$CrCl_3 + 3CH_3COONa + 2H_2O \xlongequal{煮沸} 3NaCl + 2CH_3COOH + \underset{(棕色)}{Cr(OH)_2CH_3COO}$$

$$CrCl_3 + 3K_3Fe(CN)_6 + 8KOH = 3K_4Fe(CN)_6 + 3KCl + 4H_2O + K_2CrO_4$$

【$CrSO_4$】 $$CrSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O = \underset{(结晶)}{Cr(NH_4)_2(SO_4)_2\cdot 6H_2O}$$

$$3CrSO_4 + 2Na_2HPO_4 = Cr_3(PO_4)_2 + 2Na_2SO_4 + H_2SO_4$$

【$Cr_2(SO_4)_3$】 $$2Cr_2(SO_4)_3 + H_2O \xlongequal{煮沸} Cr_4O(SO_4)_4SO_4 + H_2SO_4$$

$$Cr_4O(SO_4)_4SO_4 + 2H_2O = Cr_4O(SO_4)_4(OH)_2\cdot H_2SO_4$$

$$2Cr_2(SO_4)_3 + H_2O \xlongequal{加热至100℃} Cr_4O(SO_4)_5 + H_2SO_4$$

$$Cr_4O(SO_4)_5 + H_2O = Cr_4O_2(SO_4)_4 + H_2SO_4$$

$$Cr^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons \underset{(灰绿色)}{Cr(OH)_3\downarrow}$$

$$Cr(OH)_3 + OH^- \rightleftharpoons CrO_2^- + 2H_2O$$

$$2CrO_2^- + 3H_2O_2 + 2OH^- \rightleftharpoons \underset{(黄色)}{2CrO_4^{2-}} + 4H_2O$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 18HI = 2CrI_3 + H_2S\uparrow + 2SO_2\uparrow + 8H_2O + 6I_2$$

$$14Cr^{3+} + 6HClO_4 + 25H_2O \xlongequal{\triangle} 7Cr_2O_7^{2-} + 3Cl_2\uparrow + 56H^+$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6HPO_3 = Cr_2(PO_3)_6 + 3H_2SO_4$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6HPO_3 = \underset{\text{(绿色粉末)}}{Cr_2O_3\cdot(P_2O_5)_3}\downarrow + 3H_2SO_4$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 5KI + KIO_3 + 3H_2O = 2Cr(OH)_3 + 3K_2SO_4 + 3I_2$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2S + 6H_2O = 2Cr(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4 + 3H_2S\uparrow$$

$$8Cr^{3+} + 3ClO_4^- + 16H_2O = 4Cr_2O_7^{2-} + 3Cl^- + 32H^+$$

$$Cr_2(SO_4)_{3(\text{固})} + (NH_4)_2SO_{4(\text{固})} \xlongequal{\text{熔化}} (NH_4)_2SO_4\cdot Cr_2(SO_4)_3$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2S_2O_8 + 7H_2O = (NH_4)_2Cr_2O_7 + 2(NH_4)_2SO_4 + 7H_2SO_4$$

$$2Cr^{3+} + 3S_2O_8^{2-} + 7H_2O = Cr_2O_7^{2-} + 6SO_4^{2-} + 14H^+$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 3(NH_4)_2S_2O_8 + 8H_2O = 2H_2CrO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 6H_2SO_4$$

$$2Cr_2(SO_4)_3 + 6(NH_4)_2S_2O_8 + 16H_2O = 4H_2CrO_4 + 12NH_4HSO_4 + 6H_2SO_4$$

$$Cr^{3+} + 2HPO_4^{2-} \rightleftharpoons CrPO_4\downarrow + H_2PO_4^-$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 2KMnO_4 + 5H_2O = 2MnO(OH)_2 + K_2Cr_2O_7 + 3H_2SO_4$$

$$5Cr_2(SO_4)_3 + 6KMnO_4 + 6H_2O \xlongequal{加H^+煮沸} 10CrO_3 + 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 6H_2SO_4$$

$$10Cr^{3+} + 6MnO_4^- + 11H_2O \xlongequal{\triangle} 5Cr_2O_7^{2-} + 6Mn^{2+} + 22H^+$$

$$Cr_2(SO_4)_3 + 6K_3Fe(CN)_6 + 16KOH = 2K_2CrO_4 + 6K_4Fe(CN)_6 + 3K_2SO_4 + 8H_2O$$

$$7[Cr_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4] + 32NaOH + 9H_2O =$$

（钾铬矾）

$$7K_2SO_4 + 16Na_2SO_4 + (Cr_2O_3)_7(SO_3)_5 \cdot 25H_2O\downarrow$$

$$Cr_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 + 3Na_2SO_3 \xlongequal{水浴上加热} Cr_2(SO_3)_3 + K_2SO_4 + 3Na_2SO_4$$

$$Cr_2(SO_4)_3 \cdot K_2SO_4 \cdot 24H_2O + 2Na_2HPO_4 = 2CrPO_4 + H_2SO_4 + K_2SO_4 + 2Na_2SO_4 + 24H_2O$$

【其他含铬的化合物】

$$Cr_2O_3 \cdot FeO + 4C \xlongequal{高温} Fe + 2Cr + 4CO\uparrow$$

（铬铁矿）

（得到铬铁合金）

$$4Cr_2O_3 \cdot FeO + 8Na_2CO_3 + 7O_2 \xlongequal{共熔} 8Na_2CrO_4 + 2Fe_2O_3 + 8CO_2\uparrow$$

$$2Cr_2O_3 \cdot FeO + 4Na_2CO_3 + 7NaNO_3 = 4Na_2CrO_4 + Fe_2O_3 + 7NaNO_2 + 4CO_2\uparrow$$

$$(NH_4)_2CrO_4 + H_2CrO_4 = (NH_4)_2Cr_2O_7 + H_2O$$

$$2(NH_4)_2CrO_4 \xlongequal{灼烧} Cr_2O_3 + 2NH_3\uparrow + N_2\uparrow + 5H_2O$$

$$2PbCrO_4 + 3SO_2 = 2PbO + Cr_2O_3 + 3SO_3$$

$$4Hg_2CrO_4 \xlongequal{灼烧} 2Cr_2O_3 + 8Hg + 5O_2\uparrow$$

$$2Na_3CrO_3 + 3CaOCl_2 + H_2O = 2Na_2CrO_4 + 3CaCl_2 + 2NaOH$$

（亚铬酸钠）

$$2Ag_2Cr_2O_7 + H_2O \xlongequal{煮沸} 2Ag_2CrO_4 + 2H_2Cr_2O_7$$

$$(NH_4)_2Cr_2O_7 \xlongequal{灼烧} Cr_2O_3 + N_2\uparrow + 4H_2O$$

$$H_2Cr_2O_7 + 3H_2C_2O_4 \xlongequal{25℃} Cr_2O_3 + 6CO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$CrO_2Cl_2 + 4NaOH = Na_2CrO_4 + 2NaCl + 2H_2O$$

$$3CrO_2Cl_{2(蒸气)} + 8NH_{3(干燥)} = Cr_2O_3\cdot CrO_3 + 6NH_4Cl + N_2$$

（黄色）

$$CrO_2Cl_2 + 2H_2O = H_2CrO_4 + 2HCl$$

$$4KCrO_3Cl + 18HCl_{(浓)} = Cr_2O_3\cdot 2CrCl_3 + 4KCl + 6Cl_2\uparrow + 9H_2O$$

$$KCrO_3Cl + H_2O = H_2CrO_4 + KCl$$

（氯化铬酸钾）

$$2[Cr_2O_{12}]^{2-} + 4OH^- = 4CrO_4^{2-} + 5O_2\uparrow + 2H_2O$$

（过铬酸根）

$$[Cr_2O_{12}]^{2-} + 8H^+ = 2Cr^{3+} + 4H_2O + 4O_2\uparrow$$

$$Cr_2O_3\cdot(K_2O)_3\cdot 12MoO_3 + 18KOH = 12K_2O\cdot MoO_3 + 2Cr(OH)_3 + 6H_2O$$

$$Cr_2S_3 + 6H_2O = 2Cr(OH)_3\downarrow + 3H_2S\uparrow$$

$$2Cr_3C + 9H_2SO_4 = 3Cr_2(SO_4)_3 + 2C + 9H_2$$

$$Cr_4C + 12H_3PO_4 = 4Cr(H_2PO_4)_3 + 6H_2\uparrow + C$$

$$Cr_4C + 4O_2 \xlongequal{1250℃} 2Cr_2O_3 + CO_2\uparrow$$

11.2 钼 $4d^5 5s^1$ Mo＝95.94

【Mo】 $Mo + 3F_{2(干燥)} \xlongequal{在Pt管中} MoF_6$

（Cl_2、Br_2需加热才能反应）

$$2Mo + 5Cl_2 \xlongequal{红热} 2MoCl_5$$

$$4Mo + 3O_2 \xlongequal{500℃} 2Mo_2O_3$$

$$2Mo + C \xlongequal{1100℃} Mo_2C$$

$$Mo_{(灼热)} + 2H_2O_{(气)} \xrightleftharpoons{700℃} \underset{(棕紫色)}{MoO_2} + 2H_2\uparrow$$

$$Mo + 6CO \xlongequal{高温，高压} Mo(CO)_6$$

$$4Mo_{(粉)} + 2NH_3 \xlongequal{高温} 2Mo_2N_{(或MoN)} + 3H_2\uparrow$$

注：钼与稀H_2SO_4、HF、HCl均无反应，但能溶于HNO_3和热浓H_2SO_4中。高温时，还能被碱熔融。

$$Mo + 2HNO_3 = H_2MoO_4 + 2NO$$

【MoO_3】

$$MoO_3 + H_2 \xlongequal{400—500℃} MoO_2 + H_2O$$

$$2MoO_3 + 3C \xlongequal{高温} 2Mo + 3CO_2 + Q$$

$$2MoO_3 + 3Si \xlongequal{高温} 2Mo + 3SiO_2 + Q$$

$$MoO_3 + 2Al \xlongequal{灼热} Mo + Al_2O_3$$

$$MoO_3 + CaO = CaMoO_4$$

$$MoO_3 + 2NaOH = Na_2[MoO_4] + H_2O$$

$$MoO_3 + 2NH_3\cdot H_2O_{(热)} = (NH_4)_2MoO_4 + H_2O$$

$$(NH_4)_2MoO_4 + 2HCl = H_2MoO_4\downarrow + 2NH_4Cl$$

$$7MoO_3 + 6NH_4OH = \underset{(异钼酸铵)}{(NH_4)_6Mo_7O_{24}} + 3H_2O$$

$$MoO_3 + 2HCl_{(气流)} \xlongequal{200℃} MoO_3\cdot 2HCl\uparrow$$

$$2MoO_3 + C_2H_5OH + 6HCl = 2MoOCl_3 + CH_3CHO + 4H_2O$$

【MoO_2】　$MoO_2 + 2H_2 \xlongequal{1000-1500℃} Mo + 2H_2O$

$MoO_2 + Cl_2 \xlongequal{500-600℃} MoO_2Cl_2$

$MoO_2 + 2HNO_3 = MoO_3 + 2NO_2 + H_2O$

【Mo_2O_3】　$5Mo_2O_3 + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 = 10MoO_3 + 6MnSO_4 + 3K_2SO_4 + 9H_2O$

【H_2MoO_4】　$H_2MoO_4 \xlongequal{400-500℃} MoO_3 + H_2O$

$2H_2MoO_4 + 3Zn + 6H_2SO_4 = Mo_2(SO_4)_3 + 3ZnSO_4 + 8H_2O$

$12H_2MoO_4 + H_3PO_4 = H_3[P(Mo_3O_{10})_4] + 12H_2O$

（黄色、磷钼杂多酸）

$[P(Mo_3O_{10})_4]^{3-} + 11H^+ + 4Sn^{2+} = (MoO_2 \cdot 4MoO_3)_2 \cdot H_3PO_4 + 4Sn^{4+} + 2MoO_2 + 4H_2O$

（蓝色、磷钼蓝）

$2H_2MoO_4 + 3SnCl_2 + 12HCl = 2MoCl_3 + 3SnCl_4 + 8H_2O$

$2H_2MoO_4 + SnCl_2 + 16NH_4SCN + 6H_2SO_4 = Sn(SO_4)_2 + 2[3NH_4SCN \cdot Mo(SCN)_5] + 4(NH_4)_2SO_4 + 2NH_4Cl + 8H_2O$

$2MoO_4^{2-} + 3Sn^{2+} + 16H^+ = 2Mo^{3+} + 3Sn^{4+} + 8H_2O$

【Na_2MoO_4】　$Na_2MoO_4 + 2HCl = H_2MoO_4 + 2NaCl$

$5Na_2MoO_4 + 10NH_4Cl \xlongequal{与水煮沸} [(NH_4)_2MoO_4]_2 \cdot [MoO_3]_3 \cdot H_2O + 10NaCl + 6NH_3\uparrow + 2H_2O$

$$Na_2MoO_4\cdot 10H_2O \xrightleftharpoons[-8H_2O]{10℃} Na_2MoO_4\cdot 2H_2O$$

$$\xrightleftharpoons[-2H_2O]{100℃} Na_2MoO_4\text{(无水)}$$

【$(NH_4)_2MoO_4$】 $2(NH_4)_2MoO_4 + 3Zn + 16HCl =\!=\!= 2MoCl_3 + 3ZnCl_2 + 4NH_4Cl + 8H_2O$

$(NH_4)_2MoO_4 + 4H_2S\text{(足量)} =\!=\!= (NH_4)_2MoS_4 + 4H_2O$

$(NH_4)_2MoS_4 + 2HCl =\!=\!= MoS_3\downarrow + H_2S + 2NH_4Cl$

$(NH_4)_2MoO_4 + 3H_2S + 2HCl =\!=\!= MoS_3\downarrow + 2NH_4Cl + 4H_2O$

$4MoS_3 + 8NaOH =\!=\!= 3Na_2MoS_4 + Na_2MoO_4 + 4H_2O$

$MoS_3 + 2NH_3 + H_2S =\!=\!= (NH_4)_2MoS_4$

$(NH_4)_2MoO_4\text{(浓)} + 4HF + H_2O_2 + 3NH_4F =\!=\!= MoO_3\cdot F_2\cdot 3NH_4F\downarrow + 2NH_4F + 3H_2O$

$(NH_4)_2MoO_4 + 2HCl =\!=\!= H_2MoO_4\downarrow + 2NH_4Cl$

$(NH_4)_2MoO_4 + 2HNO_3\text{(浓)} \overset{\triangle}{=\!=\!=} MoO_3\cdot H_2O\downarrow + 2NH_4NO_3$

$(NH_4)_2MoO_4 + 4(NH_4)_2S + 4H_2O =\!=\!= (NH_4)_2MoS_4 + 8NH_4OH$

【MoO_4^{2-}】 $2MoO_4^{2-} + Zn + 8H^+ =\!=\!= 2MoO_2^+ + Zn^{2+} + 4H_2O$

$2MoO_4^{2-} + 3Sn^{2+} + 16H^+ =\!=\!= 2Mo^{3+} + 3Sn^{4+} + 8H_2O$

$12MoO_4^{2-} + 3NH_4^+ + 24H^+ + PO_4^{3-} =\!=\!= \underset{\text{(黄色)}}{(NH_4)_3PO_4\cdot 12MoO_3\downarrow} + 12H_2O$

【$CaMoO_4$】 $CaMoO_4 + 2HCl =\!=\!= H_2MoO_4 + CaCl_2$

【$CeMoO_4$】 $CeMoO_4 + 3Fe + 4H_2SO_4 =\!=\!= CeSO_4 + 3FeSO_4 + Mo + 4H_2O$

【$MoCl_3$】 $MoCl_3 + 6NH_4SCN = (NH_4)_3[Mo(SCN)_6] + 3NH_4Cl$

【$MoCl_5$】

$$MoCl_5 \xrightarrow[250℃]{H_2\text{气流中进行}} \underset{\text{(暗红色)}}{MoCl_3} + Cl_2$$

$$2MoCl_5 + 2O_2 \xrightarrow{\triangle} \underset{\text{(白色)}}{2MoO_2Cl_2} + 3Cl_2$$

$$3MoCl_5 + 2Mo = 5MoCl_3$$

$$MoCl_5 + H_2O = \underset{\text{(绿色)}}{MoOCl_3} + 2HCl$$

【MoS_2】

$$2MoS_2 + 7O_2 \xrightarrow{550-650℃} 2MoO_3 + 4SO_2\uparrow$$

$$2MoS_2 + 2CaO + 3C \xrightarrow[\text{熔融}]{\text{电炉内}} 2CaS + 2CO\uparrow + CS_2 + 2Mo$$

【MoS_3】 $4MoS_3 + 8NaOH = 3Na_2MoS_4 + Na_2MoO_4 + 4H_2O$

$$MoS_3 + 2NH_3 + H_2S = (NH_4)_2MoS_4$$

$$MoS_3 + Na_2S = Na_2MoS_4$$

【$(NH_4)_2MoS_4$】 $(NH_4)_2MoS_4 + 2HCl = 2NH_4Cl + H_2S\uparrow + MoS_3\downarrow$

$$(NH_4)_2MoS_4 + 2HCl = H_2MoS_4 + 2NH_4Cl$$

$$H_2MoS_4 = MoS_3\downarrow + H_2S$$

【MoC】 $3MoC + 10HNO_3 = 3H_2MoO_4 + 10NO\uparrow + 3CO_2\uparrow + 2H_2O$

【$(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3$】 $(NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3 + 23KOH = (NH_4)_2HPO_4 + 11K_2MoO_4 + NH_4KMoO_4 + 11H_2O$

$$2[(NH_4)_3PO_4\cdot 12MoO_3]+46NaOH = (NH_4)_2MoO_4+2(NH_4)_2HPO_4+23Na_2MoO_4+22H_2O$$

11.3　钨　$5d^46s^2$　W＝183.85

【W】

$$W+3F_2 \xrightarrow{\text{室温}} WF_6$$

（与Cl_2需250℃、与Br_2、I_2需在红热下。）

注： W与S不起反应，高温时，能与C生成WC和W_2C。

$$W+N_2 \xrightarrow{1200—1500℃} WN_2$$

$$2W+3O_2 \xrightarrow{400℃} 2WO_3$$

$$W+3H_2O \underset{}{\overset{700℃}{\rightleftharpoons}} WO_3+3H_2\uparrow$$

注： W与稀、浓、冷热的HCl、H_2SO_4、HNO_3均不起反应，只能跟"王水"或HF和HNO_3的混合酸液起反应。

$$W+2HNO_{3(\text{热、浓})} \xrightarrow{\triangle} \underset{(\text{黄色})}{H_2WO_4}\downarrow+2NO\uparrow$$

【WO_3】

$$WO_3+3H_2 \xrightarrow{820℃} W+3H_2O\uparrow$$

（650℃时得WO_2）

$$WO_3+3C \xrightarrow{1500℃} W+3CO\uparrow$$

$$WO_3+2Al \xrightarrow{\triangle} W+Al_2O_3$$

$$5WO_3+W_{(\text{粉})} \xrightarrow{\text{烧结}} 3W_2O_5$$

$$WO_3+2NaOH = Na_2WO_4+H_2O$$

$$WO_3+2NH_4OH = (NH_4)_2WO_4+H_2O$$

（处理钨矿石的反应）

$$WO_3+K_2S_2O_7 = K_2WO_4+2SO_3\uparrow$$

$$WO_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2WO_4 + CO_2\uparrow$$

【H_2WO_4】 $$H_2WO_4 \xlongequal{500℃} WO_3 + H_2O$$

$$H_2WO_4 + 2NaOH = Na_2WO_4 + 2H_2O$$

$$H_2WO_4 + 2NH_4OH = (NH_4)_2WO_4 + 2H_2O$$

$$H_2WO_4 \cdot H_2O + \underset{\text{(辛可宁)}}{C_{19}H_{22}N_2O \cdot HCl} = C_{19}H_{22}N_2O \cdot WO_3 + HCl + 2H_2O$$

【Na_2WO_4】 $$\underset{\text{(溶液)}}{Na_2WO_4} \xrightarrow{H_2S(气)} Na_2WO_3S \xrightarrow{H_2S} Na_2WO_2S_2 \xrightarrow{H_2S} Na_2WOS_3 \xrightarrow{H_2S} Na_2WS_4$$

$$2Na_2WO_4 + Zn + 6HCl = W_2O_5\downarrow + ZnCl_2 + 4NaCl + 3H_2O$$

$$Na_2WO_4 + 2HCl \xlongequal{煮沸} \underset{\text{(黄色)}}{H_2WO_4\downarrow} + 2NaCl$$

$$Na_2WO_4 + 2HCl + H_2O = \underset{\text{(白色)}}{H_2WO_4 \cdot H_2O\downarrow} + 2NaCl$$

$$Na_2WO_4 + CaCl_2 = CaWO_4\downarrow + 2NaCl$$

$$2Na_2WO_4 + SnCl_2 + 6HCl = W_2O_5\downarrow + SnCl_4 + 4NaCl + 3H_2O$$

$$Na_2WO_4 + TiCl_3 + 4KSCN + 6HCl = 2NaCl + K[WO(SCN)_4] + 3KCl + TiCl_4 + 3H_2O$$

$$Na_2WO_4 + 4(NH_4)_2S + 4H_2O = Na_2WS_4 + 8NH_4OH$$

$$Na_2WO_4 + MnSO_4 = MnWO_4 + Na_2SO_4$$

【$CaWO_4$】 $$\underset{\text{(白钨矿石)}}{CaWO_4} + 2HCl = H_2WO_4 + CaCl_2$$

$$CaWO_4 + Na_2CO_{3(液)} \rightleftharpoons Na_2WO_4 + CaCO_3\downarrow$$

$$CaWO_4 + Na_2CO_3 + SiO_2 \xlongequal{焙烧} Na_2WO_4 + CaSiO_3 + CO_2\uparrow$$

【$(NH_4)_2WO_4$】 $12(NH_4)_2WO_4 \xlongequal{蒸发} 5(NH_4)_2O\cdot 12WO_3\downarrow + 14NH_3\uparrow + 7H_2O$

$$5(NH_4)_2O\cdot 12WO_3 \xlongequal{灼烧} 12WO_3 + 10NH_3\uparrow + 5H_2O\uparrow$$

$$12(NH_4)_2WO_4 + 14HCl = 5(NH_4)_2O\cdot 12WO_3 + 14NH_4Cl + 7H_2O$$

$$5(NH_4)_2O\cdot 12WO_3\cdot 11H_2O \xlongequal{焙烧} 12WO_3 + 10NH_3\uparrow + 16H_2O$$

【$FeWO_4$】 $FeWO_4 + 2NaOH = Na_2WO_4 + Fe(OH)_2$

$$4FeWO_4 + 4Na_2CO_3 + O_2 \xlongequal{800—900℃} 4Na_2WO_4 + 2Fe_2O_3 + 4CO_2\uparrow$$

【$MnWO_4$】 $6MnWO_4 + 6Na_2CO_3 + O_2 \xlongequal{900℃} 6Na_2WO_4 + 2Mn_3O_4 + 6CO_2\uparrow$

【WCl_5】 $2WCl_5 + 3H_2 \xlongequal{高温} 2WCl_2 + 6HCl\uparrow$

（WBr_5有类似的反应）

$$WCl_5 + H_2O \rightleftharpoons WO^{3+} + 5Cl^- + 2H^+$$

【WCl_6】 $2WCl_6 + H_2 = 2WCl_5 + 2HCl$

（WBr_6有类似的反应）

【WBr_5】 $WBr_5 + 2H_2O \rightleftharpoons WO_2^{2+} + 5Br^- + 4H^+$

【WC】 $3WC + 10HNO_3 = 3H_2WO_4\downarrow + 10NO\uparrow + 3CO_2\uparrow + 2H_2O$

【Fe_2W】 $Fe_2W + 4HCl \xlongequal{\triangle} W\downarrow + 2FeCl_2 + 2H_2\uparrow$

第十二章 锰分族

12.1 锰 $3d^5 4s^2$ Mn = 54.9380

【Mn】 **注：**锰在高温下能与卤素、S、N_2、C等直接化合。

$$Mn + X_2 \xlongequal{\triangle} MnX_2$$

$(X_2 = F_2、Cl_2、Br_2)$

$$3Mn + 2O_2 \xlongequal{燃烧} Mn_3O_4$$

$$Mn + S \xlongequal{共熔} MnS$$

$$3Mn + N_2 \xlongequal{1200℃以上} Mn_3N_2$$

$$3Mn + C \xlongequal{熔融} Mn_3C$$

$$Mn + 2H_2O_{(热)} \xlongequal{\quad} Mn(OH)_2 + H_2\uparrow$$

$$2Mn + 4KOH + 3O_2 \xlongequal{熔融} 2K_2MnO_4 + 2H_2O$$

注：锰易溶于酸，甚至醋酸也能使它溶解。

$$Mn + 2HCl \xlongequal{\quad} MnCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Mn + H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{\quad} MnSO_4 + H_2\uparrow$$

$$3Mn + 8HNO_{3(稀)} \xlongequal{\quad} 3Mn(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

【MnO】

$$MnO + C \xlongequal{高温} Mn + CO - Q$$

$$2MnO + Si \xlongequal{高温} 2Mn + SiO_2$$

$$MnO + SiO_2 \xlongequal{炼钢炉内} MnO \cdot SiO_2 + Q$$

（即$MnSiO_3$）

$$MnO + 2Na_2O_2 \xlongequal{\text{熔融}} Na_2MnO_4 + Na_2O$$

$$MnO + 2HCl \xlongequal{} MnCl_2 + H_2O$$

$$MnO + H_2SO_4 \xlongequal{} MnSO_4 + H_2O$$

【Mn_2O_3】　$6Mn_2O_3 \xlongequal{940℃} 4Mn_3O_4 + O_2\uparrow$

$$Mn_2O_3 + H_2O + Br_2 \xlongequal{} 2MnO_2 + 2HBr$$

$$Mn_2O_3 + 6HCl_{(\text{稀})} \xlongequal{\triangle} 2MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 3H_2O$$

$$2Mn_2O_3 + 4H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\triangle} 4MnSO_4 + O_2\uparrow + 4H_2O$$

$$Mn_2O_3 + 2HNO_{3(\text{稀})} \rightleftharpoons Mn(NO_3)_2 + H_2MnO_3$$

【Mn_3O_4】　$3Mn_3O_4 + 8Al \xlongequal{} 9Mn + 4Al_2O_3$

$$Mn_3O_4 + nCO \xlongequal{950℃\text{以上}} 3MnO + CO_2 + (n-1)CO + Q$$

$$Mn_3O_4 + 8HCl \xlongequal{\triangle} 3MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 4H_2O$$

$$2Mn_3O_4 + 6H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\triangle} 6MnSO_4 + O_2\uparrow + 6H_2O$$

【MnO_2】　$3MnO_2 \xlongequal{\text{煅烧}} Mn_3O_4 + O_2\uparrow$

$$MnO_2 + H_{2(\text{气流})} \xlongequal{\triangle} MnO + H_2O$$

（MnO溶于酸，不溶于水）

$$2MnO_2 + H_2 \xlongequal{} Mn_2O_3 + H_2O$$

（干电池内正极去H_2反应）

$$MnO_2 + 2C + 70\text{千卡} \xlongequal{\text{电炉内}} Mn + 2CO\uparrow$$

$$6MnO_2 + 2NH_{3(\text{气流})} \xlongequal{\triangle} 3Mn_2O_3 + N_2\uparrow + 3H_2O$$

（棕黑色）

$$3MnO_2 + 2CO \xlongequal{950℃\text{以上}} Mn_3O_4 + 2CO_2\uparrow + Q$$

注： 在炼钢炉内锰的氧化物的还原顺序为：

$$2MnO_2 + CO \xlongequal{} Mn_2O_3 + CO_2\uparrow$$

$$3Mn_2O_3 + CO \xlongequal{} 2Mn_3O_4 + CO_2\uparrow$$

$$Mn_3O_4 + CO = 3MnO + CO_2\uparrow$$

$$MnO + C = Mn + CO\uparrow$$

$$3MnO_2 + (n+2)CO + 3C \xlongequal{950℃以上} 3Mn + 3CO_2\uparrow + (n+2)CO\uparrow - Q$$

$$2MnO_2 + 4KOH + O_{2(空气)} \xlongequal[共熔]{250—300℃} \underset{(绿色)}{2K_2MnO_4} + 2H_2O$$

注： MnO_2跟稀H_2SO_4、稀HNO_3不起反应。

$$2MnO_2 + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} 2MnSO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$MnO_2 + 2H_2SO_{4(浓)} = Mn(SO_4)_2 + 2H_2O$$

$$2Mn(SO_4)_2 + 2H_2O = 2MnSO_4 + O_2\uparrow + 2H_2SO_4$$

$$MnO_2 + 2H_2SO_3 = Mn(OH)_2 + H_2S_2O_6$$

$$2MnO_2 + 3H_2SO_3 \xlongequal{共热} Mn_2(SO_3)_3 + [O] + 3H_2O$$

$$MnO_2 + 2HNO_3 + H_2O_2 = Mn(NO_3)_2 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$MnO_2 + H_2SO_4 + H_2O_2 = MnSO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3MnO_2 + 2H_3PO_4 + 3H_2O_2 \xlongequal{低温} Mn_3(PO_4)_2 + 3O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$MnO_2 + H_2C_2O_4 + H_2SO_4 = MnSO_4 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$MnO_2 + 2KHF_2 + 2HF = \underset{(金黄色晶体)}{K_2MnF_6} + 2H_2O$$

$$MnO_2 + 4H^+ + 2Cl^- = Mn^{2+} + Cl_2 + 2H_2O$$

$$MnO_{2(固)} + 4H^+ + 2I^- = Mn^{2+} + I_2 + 2H_2O$$

$$3MnO_2 + KClO_3 + 6KOH = 3K_2MnO_4 + KCl + 3H_2O$$

$$MnO_2 + BiO_3^- + H_2O = MnO_4^{2-} + Bi^{3+} + 2OH^-$$

$$MnO_2 + 2FeSO_4 + 2H_2SO_4 = MnSO_4 + Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

注：MnO_2可溶于Na_2SO_3和酸的混合液中。

$$MnO_2 + SO_3^{2-} + 2H^+ = Mn^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O$$

$$MnO_2 + NaNO_2 + 2HNO_3 = Mn(NO_3)_2 + NaNO_3 + H_2O$$

$$2MnO_2 + 2K_2CO_3 + O_2 \xlongequal{\text{熔融}} 2K_2MnO_4 + 2CO_2\uparrow$$

$$MnO_{2(\text{固})} + K_2CO_{3(\text{固})} + KNO_{3(\text{固})} \xlongequal{\text{熔化}} K_2MnO_4 + KNO_2 + CO_2\uparrow$$

$$MnO_2 + 2KMnO_4 + 4KOH = 3K_2MnO_4 + 2H_2O$$

$$MnO_2 + 2Fe^{2+} + 4H^+ = Mn^{2+} + 2Fe^{3+} + 2H_2O$$

【Mn_2O_7】　$2Mn_2O_7 \xlongequal{0℃} 4MnO_2 + 3O_2\uparrow$

$$Mn_2O_7 + H_2O_{(\text{冷})} = \underset{(\text{紫色})}{2HMnO_4}$$

【$Mn(OH)_2$】　$2Mn(OH)_2 + O_{2(\text{空气})} = \underset{(\text{淡棕色})}{2MnO(OH)_2}$

$$6Mn(OH)_2 + O_2 = 2Mn_3O_4 + 6H_2O$$

$$2Mn(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = \underset{(\text{棕色})}{2Mn(OH)_4}$$

$$Mn(OH)_2 + Cl_2 + 2NaOH = 2NaCl + H_2MnO_3 + H_2O$$

$$Mn(OH)_2 + Cl_2 + 2OH^- = MnO(OH)_2 + 2Cl^- + H_2O$$

$$Mn(OH)_2 + H_2O_2 = H_2MnO_3 + H_2O$$

$$Mn^{2+} + 2OH^- + H_2O_2 = MnO(OH)_2\downarrow + H_2O$$

$$Mn(OH)_2 + Na_2O_2 + H_2O = MnO(OH)_2\downarrow + 2NaOH$$

$$Mn(OH)_2 + 2H^+ \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$$

$$Mn(OH)_2 + H_2MnO_3 = MnMnO_3 + 2H_2O$$

$$2Mn(OH)_2 + H_4MnO_4 = Mn_3O_4 + 4H_2O$$

$$Mn(OH)_2 + 2NH_4{}^+ \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

（强酸的铵盐可溶解$Mn(OH)_2$）

$$Mn(OH)_2 + 2[Fe(CN)_6]^{3-} + 2OH^- = MnO(OH)_2\downarrow + 2[Fe(CN)_6]^{4-} + H_2O$$

$$Mn(OH)_2 + OCl^- = MnO(OH)_2 + Cl^-$$

【$Mn(OH)_4$】 $$Mn(OH)_4 \xlongequal{\text{脱水}} MnO(OH)_2 + H_2O$$

（即H_2MnO_3）

$$Mn(OH)_4 + 2KI + 4HCl = MnCl_2 + 2KCl + I_2 + 4H_2O$$

【$MnO(OH)_2$】（即H_2MnO_3） $$MnO(OH)_2 + 2H^+ + H_2O_2 = Mn^{2+} + 3H_2O + O_2\uparrow$$

$$MnO(OH)_2 + H_2SO_4 + H_2O_2 = MnSO_4 + O_2\uparrow + 3H_2O$$

$$2MnO(OH)_2 + 2H_2SO_4 + 4H_2O_2 \xlongequal{\triangle} 2MnSO_4 + 8H_2O + 3O_2\uparrow$$

$$MnO(OH)_2 + 4HCl \xlongequal{\triangle} MnCl_2 + Cl_2\uparrow + 3H_2O$$

$$2MnO(OH)_2 + 10H^+ + 3BiO_3^- \rightleftharpoons 2MnO_4^- + 3Bi^{3+} + 7H_2O$$

$$MnO(OH)_2 + KNO_2 + H_2SO_4 = MnSO_4 + KNO_3 + 2H_2O$$

$$3MnO(OH)_2 + 3Na_2CO_3 + KClO_3 = 3Na_2MnO_4 \text{（绿色）} + KCl + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

【H_2MnO_4】 $$3H_2MnO_4\text{（不稳定）} = 2HMnO_4 + MnO_2 + 2H_2O$$

【$HMnO_4$】 $$2HMnO_4 + 14HCl = 2MnCl_2 + 5Cl_2 + 8H_2O$$

$$2HMnO_4 + 5HNO_2 = 2Mn(NO_3)_2 + HNO_3 + 3H_2O$$

$$2HMnO_4 + 10NaCl + 7H_2SO_4 = 5Na_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5Cl_2 + 8H_2O$$

$$2HMnO_4 + 10NaCl + 16HNO_3 = 10NaNO_3 + 2Mn(NO_3)_2 + 2HNO_3 + 5Cl_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2HMnO_4 + 10FeSO_4 + 7H_2SO_4 = 2MnSO_4 + 5Fe_2(SO_4)_3 + 8H_2O$$

$$2HMnO_4 + 5NaNO_2 + 4HNO_3 = 2Mn(NO_3)_2 + 5NaNO_3 + 3H_2O$$

$$2HMnO_4 + 5NaNO_2 + 2H_2SO_4 = 2MnSO_4 + 5NaNO_3 + 3H_2O$$

$$2HMnO_4 + 5H_3AsO_3 + 4HNO_3 = 2Mn(NO_3)_2 + 5H_3AsO_4 + 3H_2O$$

$$2HMnO_4 + 5Na_3AsO_3 + 2H_2SO_4 = 2MnSO_4 + 5Na_3AsO_4 + 3H_2O$$

【K_2MnO_4】 $$2K_2MnO_4 + Cl_2 = 2KMnO_4 + 2KCl$$
（反应需在碱性溶液中进行）

$$K_2MnO_4 + Cl_2 \xlongequal{\triangle} 2KCl + MnO_2 + O_2\uparrow$$

$$3K_2MnO_4 + 2CO_2 = 2KMnO_4 + MnO_2\downarrow + 2K_2CO_3$$

$$2K_2MnO_4 + 2H_2O \xlongequal{\text{电解}} 2KMnO_4 + 2KOH + H_2\uparrow$$

注： K_2MnO_4 不稳定，在酸性、碱性、中性、水溶液中

均可转化。

$$3K_2MnO_4 + 2H_2O \xrightarrow[\text{(自行转化)}]{\text{在空气中}} 2KMnO_4 + MnO_2\downarrow + 4KOH$$

$$3MnO_4^{2-} + 2H_2O = MnO_2\downarrow + 2MnO_4^- + 4OH^-$$

$$K_2MnO_4 + 8HCl = MnCl_2 + 2Cl_2\uparrow + 2KCl + 4H_2O$$

$$3K_2MnO_4 + 2H_2SO_4 = 2KMnO_4 + 2K_2SO_4 + MnO_2\downarrow + 2H_2O$$

$$3K_2MnO_4 + 4HNO_3 = 2KMnO_4 + MnO_2\downarrow + 4KNO_3 + 2H_2O$$

$$K_2MnO_4 + 2SnCl_2 + 8HCl = 2SnCl_4 + MnCl_2 + 2KCl + 4H_2O$$

$$2MnO_4^{2-} + ClO^- + H_2O = Cl^- + 2MnO_4^- + 2OH^-$$

$$K_2MnO_4 + 4FeSO_4 + 4H_2SO_4 = MnSO_4 + 2Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 4H_2O$$

$$K_2MnO_4 + MnSO_{4(\text{浓})} = K_2SO_4 + 2MnO_2\downarrow$$

$$K_2MnO_4 + C_2H_5OH = K_2MnO_3 + CH_3CHO + H_2O$$

$$MnO_4^{2-} + 4H^+ + CH_3CH_2OH = Mn^{2+} + CH_3COOH + 3H_2O$$

【$KMnO_4$】 $2KMnO_{4(\text{干})} \xrightarrow{200℃} K_2MnO_4 + MnO_2\downarrow + O_2\uparrow$

$$4KMnO_4 \xrightarrow{\triangle} 2K_2O + 4MnO_2\downarrow + 3O_2\uparrow$$

$$MnO_4^- + 5Ag + 8H^+ = Mn^{2+} + 5Ag^+ + 4H_2O$$

$$6KMnO_4 + 4PH_3 = 3Mn_2O_3\downarrow + 2K_2HPO_3 + 2KH_2PO_3 + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + PH_3 = Mn_2O_3\downarrow + K_2HPO_4 + H_2O$$

$$10KMnO_4 + 3C_2H_2 + 2H_2O = 10KOH + 10MnO_2 + 6CO_2\uparrow$$

$$2KMnO_4 + 3CH_2{=}CH_2 + 4H_2O = 3\begin{array}{l}CH_2OH\\ |\\ CH_2OH\end{array} + 2MnO_2 + 2KOH$$

$$\begin{array}{l}CH_2OH\\ |\\ CH_2OH\end{array} + 3[O] = 2HCOOH + H_2O$$

$$4KMnO_4 + 2H_2O = 4MnO_2 + 4KOH + 3O_2\uparrow$$

（自动分解）

$$KMnO_4 + 2H_2O_2 = Mn(OH)_3 + KOH + 2O_2\uparrow$$

$$2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 6HCl = 2MnCl_2 + 2KCl + 8H_2O + 5O_2\uparrow$$

$$2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5O_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 6HNO_3 = 2KNO_3 + 2Mn(NO_3)_2 + 5O_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5SO_2 + 2H_2O = K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$2KMnO_4 + 5SO_2 + 2H_2O = 2KHSO_4 + 2MnSO_4 + H_2SO_4$$

$$2KMnO_4 + 6SO_2 + 2H_2O = 2KHSO_4 + 2MnSO_4 + H_2S_2O_6$$

$$2KMnO_4 + 3SO_2 + 4KOH = 3K_2SO_4 + 2MnO_2 + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 2ZnO + 3MnCl_2 \xlongequal{\text{煮沸}} 5MnO_2\downarrow + 2ZnCl_2 + 2KCl$$

$$4KMnO_4 + 4KOH \xlongequal{} 4K_2MnO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 16HCl_{(\text{浓、过量})} \xlongequal{\text{煮沸}} 2MnCl_2 + 2KCl + 5Cl_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + 6HCl_{(\text{浓})} + 5HCHO \xlongequal{\text{共煮}} 2MnCl_2 + 2KCl + 5HCOOH + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + 10HI + 3H_2SO_4 \xlongequal{} 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5I_2 + 8H_2O$$

$$8KMnO_{4(\text{碱性溶液})} + 3H_2S_{(\text{气})} \xlongequal{} 3K_2SO_4 + 8MnO_2 + 2KOH + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5H_2S + 6HCl \xlongequal{} 2MnCl_2 + 2KCl + 5S\downarrow + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5H_2S + 3H_2SO_4 \xlongequal{} 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5S\downarrow + 8H_2O$$

$$4KMnO_{4(\text{固})} + 2H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\text{微热}} 2K_2SO_4 + 4MnO_2 + 3O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O + 5[O]$$

$$4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \xlongequal{} 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 5O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$10KMnO_4 + 21H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{} [Mn_5(SO_4)_8]_2\cdot 5K_2SO_4\downarrow + 19[O] + 21H_2O$$

$$4KMnO_{4(\text{干})} + 2H_2SO_{4(\text{浓})} \xlongequal{\text{冷却}} 2K_2SO_4 + 2Mn_2O_7 + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + H_2SO_4 \xlongequal{加热130℃} K_2SO_4 + 2HMnO_4$$
（在溶液中进行）

$$2KMnO_4 + 5H_2SO_3 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4 + 3H_2O$$

$$4KMnO_4 + 6H_2SO_3 = 4MnO_2\downarrow + 2H_2SO_4 + 4KHSO_4 + 2H_2O$$

$$4KMnO_4(过量) + 4HNO_3 \xlongequal{\triangle} 4KNO_3 + 4MnO_2 + 3O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5HNO_2 + 3H_2SO_4 = 5HNO_3 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$$

$$KMnO_4 + 4H_2C_2O_4 \xlongequal{加热至70℃} KMn(H_2O)_2(C_2O_4)_2 + 4CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5H_2C_2O_4 + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$$

$$4KMnO_4 + 4H_2C_2O_4 + 6H_2O = 4Mn(C_2O_4\cdot 2H_2O)\downarrow + 4KOH + 5O_2\uparrow$$

$$KMnO_4 + 5FeCl_2 + 8HCl = MnCl_2 + 5FeCl_3 + KCl + 4H_2O$$

$$2MnO_4^- + 10Cl^- + 16H^+(足量) \rightleftharpoons 2Mn^{2+} + 5Cl_2\uparrow + 8H_2O$$

$$4KMnO_4 + 10KBr + 10CH_3COCH_3 + 11H_2SO_4 = 4MnSO_4 + 7K_2SO_4 + 10CH_3COCH_2Br + 16H_2O$$

$$2MnO_4^- + 10Br^- + 16H^+(足量) \rightleftharpoons 2Mn^{2+} + 5Br_2 + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + KI + H_2O = 2MnO_2\downarrow + KIO_3 + 2KOH$$

$$6KMnO_4 + 5KI + 6H_2O = 5KIO_3 + 6MnO + 6KOH + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + 10KI + 8H_2SO_{4(稀)} = 2MnSO_4 + 5I_2 + 6K_2SO_4 + 8H_2O$$

$$2MnO_4^- + 6I^- + 6H_2O = 2MnO(OH)_2\downarrow + 3I_2 + 8OH^-$$

（在碱性溶液中进行反应）

$$2MnO_4^- + 6I^- + 4H_2O = 2MnO_2\downarrow + 3I_2 + 8OH^-$$

$$2MnO_4^- + 10I^- + 16H^+_{(足量)} = 2Mn^{2+} + 5I_2 + 8H_2O$$

$$MnO_4^- + 2CN^- = 2CNO^- + MnO_2\downarrow$$

（反应在碱性溶液中进行）

$$8MnO_4^- + 5CNS^- + 14H^+ \rightleftharpoons 5SO_4^{2-} + 5CNO^- + 8Mn^{2+} + 7H_2O$$

$$2MnO_4^- + CNS^- + 2H_2O = 2MnO(OH)_2\downarrow + CN^- + SO_4^{2-}$$

$$2KMnO_4 + 3K_2SO_3 + H_2O = 2MnO_2\downarrow + 3K_2SO_4 + 2KOH$$

（在中性溶液中反应）

$$2KMnO_4 + 3K_2SO_3 + 3H_2O \xlongequal{\triangle} 2MnO(OH)_2\downarrow + 3K_2SO_4 + 2KOH$$

$$2KMnO_4 + 6Na_2SO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{冷时} K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 5Na_2SO_4 + Na_2S_2O_6 + 4H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5K_2SO_3 + 3H_2SO_4 = 6K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$$

（在酸性溶液中的反应）

$$2KMnO_4 + K_2SO_3 + 2KOH = K_2SO_4 + 2K_2MnO_4 + H_2O$$

（在碱性溶液中的反应）

$$2KMnO_4 + 5NaNO_2 + 3H_2SO_4 = 5NaNO_3 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + Na_2S_2O_3 \xlongequal{\triangle} K_2SO_4 + Na_2SO_4 + Mn_2O_3$$

$$2MnO_4^- + 3S_2O_3^{2-} + 6H^+ = 2Mn^{2+} + 2SO_4^{2-} + S_4O_6^{2-} + 3H_2O$$

$$8MnO_4^- + 5S_2O_3^{2-} + 14H^+ = 10SO_4^{2-} + 8Mn^{2+} + 7H_2O$$

$$2MnO_4^- + 3S^{2-} + 4H_2O = 2MnO_2 + 3S + 8OH^-$$

$$8MnO_4^- + 3S^{2-} + 12H_2O = 8MnO(OH)_2\downarrow + 3SO_4^{2-} + 8OH^-$$

$$2MnO_4^- + 5S^{2-} + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 5S + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5NaNO_2 + 6HNO_3 = 2Mn(NO_3)_2 + 2KNO_3 + 5NaNO_3 + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5NaNO_2 + 3H_2SO_4 = 5NaNO_3 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5KNO_2 + 3H_2SO_4 = 5KNO_3 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O$$

$$12KMnO_4 + 10KNO_2 + 20NaNO_2 + 33H_2SO_4 = 11K_2SO_4 + 10Na_2SO_4 + 12MnSO_4 + 30HNO_3 + 18H_2O$$

$$2MnO_4^- + 3NO_2^- + H_2O = 2MnO_2 + 3NO_3^- + 2OH^-$$

$$2MnO_4^- + 5NO_2^- + 6H^+ = 2Mn^{2+} + 5NO_3^- + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + 2KNO_3 + 4H_2SO_4 = 2K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 2NO_2\uparrow + 3O_2\uparrow + 4H_2O$$

$$2MnO_4^- + 5AsO_3^{3-} + 6H^+ = 2Mn^{2+} + 5AsO_4^{3-} + 3H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5K_2C_2O_4 + 14H_2SO_4 = 2MnSO_4 + 12KHSO_4 + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2KMnO_4(\text{固}) + K_2C_2O_4 + 7H_2C_2O_4 = H_2C_2O_4 + 2K_2Mn(C_2O_4)_2(OH)_2 + 6CO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5Na_2C_2O_4 + 8H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5Na_2SO_4 + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2KMnO_4 + 5CaC_2O_4 + 8H_2SO_4 = 5CaSO_4 + 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 10CO_2\uparrow + 8H_2O$$

$$2MnO_4^- + 5C_2O_4^{2-} + 2H_2O = 2Mn^{2+} + 10CO_3^{2-} + 4H^+$$

$$KMnO_4 + K_2CO_3 + 5H_2C_2O_4 = \underset{(\text{樱红色})}{K_3Mn(C_2O_4)_3} + 5CO_2\uparrow + 5H_2O$$

$$4KMnO_4 + 12HNO_3 + 5C = 4Mn(NO_3)_2 + 4KNO_3 + 5CO_2\uparrow + 6H_2O$$

$$8KMnO_4 + 24HNO_3 + 5SiC = 5H_4SiO_4 + 8KNO_3 + 8Mn(NO_3)_2 + 5CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2MnO_4^- + 3Mn^{2+}(\text{过量}) + 7H_2O = 5MnO(OH)_2\downarrow + 4H^+$$

$$2KMnO_4 + 5C_2H_5OH + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5CH_3CHO + 8H_2O$$

$$24KMnO_4 + 5C_6H_{12}O_6 + 36H_2SO_4 = 12K_2SO_4 + 24MnSO_4 + 30CO_2\uparrow + 66H_2O$$

$$4KMnO_4 + 5C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2 + 11H_2SO_4 = 4MnSO_4 + 5Na_2SO_4 + 10C_8H_5NO_5S + 2K_2SO_4 + 6H_2O$$

【MnX_2】 $MnX_2 + MX \longrightarrow M[MnX_3]$或$M[MnX_4]$或$M[MnX_6]$

（MX表示碱金属卤化物）

【MnF_3】 $2MnF_3 + 2H_2O = MnO_2\downarrow + MnF_2 + 4HF$

【$MnCl_2$】 $MnCl_2 + Na_2O_2 = MnO_2 + 2NaCl$

$$MnCl_2 + MnO_2 + 2H_2SO_4 = 2MnSO_4 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

$$MnCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O \rightleftharpoons Mn(OH)_2 + 2NH_4Cl$$

$$MnCl_2 + H_2S = MnS\downarrow + 2HCl$$

$$3MnCl_2 + 12HCl_{(浓)} + 2HNO_3 \xlongequal{\triangle} 3H_2[MnCl_6] + 2NO + 4H_2O$$

$$MnCl_2 + (NH_4)_2S = \underset{(肉色)}{MnS\downarrow} + 2NH_4Cl$$

$$2MnCl_2 + 5(NH_4)_2S_2O_8 + 8H_2O = 5(NH_4)_2SO_4 + 4HCl + 2HMnO_4 + 5H_2SO_4$$

$$2Mn^{2+} + 5S_2O_8^{2-} + 8H_2O = 10SO_4^{2-} + 2MnO_4^- + 16H^+$$

$$3Mn^{2+} + 2NO_3^- + 18Cl^- + 8H^+ = 3[MnCl_6]^{2-} + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$MnCl_2 + NH_4OH + Na_2HPO_4 + 6H_2O = \underset{(肉色结晶)}{Mn(NH_4)PO_4\cdot 7H_2O\downarrow} + 2NaCl$$

$$2MnCl_2(浓) + 2KMnO_4(浓) = 2Mn_2O_3 + 2KCl + Cl_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$3MnCl_2 + 2KMnO_4 + 2H_2O = 5MnO_2 + 2KCl + 4HCl$$

【$MnCl_4^{2-}$】 $$10MnCl_4^{2-} + 2ClO_3^- + 12H^+ = 10MnCl_4^- + Cl_2\uparrow + 6H_2O$$

【MnI_2】 $$2MnI_2 + 3F_2 \xlongequal{250℃} 2MnF_3 + 2I_2$$

【MnS】 $$3MnS + 5O_2 \xlongequal{燃烧} Mn_3O_4 + 3SO_2\uparrow$$

注： MnS在空气中氧化是分步进行的：

$$MnS + 2O_2 = MnSO_4$$

$$MnS + 2H_2O \rightleftharpoons Mn(OH)_2 + H_2S\uparrow$$

$$2Mn(OH)_2 + O_2 = 2MnO(OH)_2$$

$$MnS + O_2 + 2H_2O = Mn(OH)_4 + S$$

$$3MnS + 14HNO_3 = 3Mn(NO_3)_2 + 3H_2SO_4 + 8NO\uparrow + 4H_2O$$

【Mn_3C】 $$Mn_3C + 3O_2 = Mn_3O_4 + CO_2\uparrow$$

$$Mn_3C + 6H_2O = 3Mn(OH)_2 + CH_4\uparrow + H_2\uparrow$$

$$3Mn_3C + 28HNO_3 = 9Mn(NO_3)_2 + 3CO_2\uparrow + 10NO\uparrow + 14H_2O$$

【$MnSO_4$】 $$MnSO_4\cdot 7H_2O \xrightleftharpoons{90℃} MnSO_4\cdot 5H_2O \xrightleftharpoons{26℃} MnSO_4\cdot 4H_2O \xrightleftharpoons{27℃} MnSO_4\cdot H_2O$$

$$MnSO_4 + 2H_2O \xlongequal{电解} MnO_2\downarrow + H_2SO_4 + H_2\uparrow$$

$$2MnSO_4 + O_2 + 4NaOH = 2MnO_2 + 2Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$2MnSO_4 + 5PbO_2 + 6HNO_3 \xlongequal{煮沸} 2HMnO_4 + 3Pb(NO_3)_2 + 2PbSO_4 + 2H_2O$$

$$2Mn^{2+} + 5PbO_2 + 4H^+ \xlongequal{煮沸} 2MnO_4^- + 5Pb^{2+} + 2H_2O$$

$$MnSO_4 + 2KOH = Mn(OH)_2 + K_2SO_4$$

$$MnSO_4 + 2NH_4OH + H_2S = MnS\downarrow + (NH_4)_2SO_4 + 2H_2O$$

$$3MnSO_4 + 2KClO_3 + 6Na_2CO_3 = 3Na_2MnO_4 + 2KCl + 3Na_2SO_4 + 6CO_2\uparrow$$

$$2MnSO_4 + 5NaBiO_3 + 16HNO_3 = 2HMnO_4 + NaNO_3 + 5Bi(NO_3)_3 + 2Na_2SO_4 + 7H_2O$$

$$2Mn^{2+} + 5BiO_3^- + 14H^+ \rightleftharpoons 2MnO_4^- + 5Bi^{3+} + 7H_2O$$

（在HNO_3中进行反应）

$$MnSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O = (NH_4)_2Mn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$$

$$2MnSO_4 + 5(NH_4)_2S_2O_{8(固)} + 8H_2O \xlongequal[加H_2SO_4]{AgNO_3催化} 2HMnO_4 + 10NH_4HSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$MnSO_4 + 2KNO_3 + 2Na_2CO_3 \xlongequal{熔化} \underset{(绿色)}{Na_2MnO_4} + 2KNO_2 + Na_2SO_4 + 2CO_2\uparrow$$

$$MnSO_4 + 2NaNO_3 = Na_2SO_4 + Mn(NO_3)_2$$

$$Mn(NO_3)_2 \rightarrow MnO_2 + N_2O_4$$

$$MnSO_4 + Na_2CO_3 = MnCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$MnSO_4 + (NH_4)_2CO_3 = MnCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$3MnSO_4 + 2KMnO_4 + 2H_2O \xlongequal{中性液} 5MnO_2\downarrow + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$$

$$3MnSO_4 + 2KMnO_4 + 4KOH + 3H_2O = 5H_2MnO_3 + 3K_2SO_4$$

$$MnSO_4 + C_4O_6H_6 + 2NaOH = MnC_4O_6H_4 + Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$MnSO_4 + C_4O_6H_6 + 3NaOH = NaMnC_4O_6H_3 + Na_2SO_4 + 3H_2O$$

【$Mn_2(SO_4)_3$】 $Mn_2(SO_4)_3 + H_2C_2O_4 = 2MnSO_4 + H_2SO_4 + 2CO_2\uparrow$

【$MnSO_3$】 $MnSO_3 + H_2SO_4 \xlongequal{0℃} MnSO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$

【$Mn(NO_3)_2$】 $Mn(NO_3)_2 \xlongequal{高温} MnO_2 + 2NO_2\uparrow$

$$Mn(NO_3)_2 = MnO_2 + N_2O_4$$

$$2Mn(NO_3)_2 + 5PbO_2 + 6HNO_3 = 2HMnO_4 + 5Pb(NO_3)_2 + 2H_2O$$

$$2Mn(NO_3)_2 + 5Ag_2O_2 + 6HNO_3 = 2HMnO_4 + 10AgNO_3 + 2H_2O$$

$$Mn(NO_3)_2 + 2HClO_3 = MnO_2\downarrow + 2ClO_2 + 2HNO_3$$

$$Mn(NO_3)_2 + 2KClO_3 = MnO_2\downarrow + 2KNO_3 + 2ClO_2$$

$$5Mn(NO_3)_2 + 2KClO_3 + 9H_2O = 5MnO(OH)_2 + Cl_2\uparrow + 8HNO_3 + 2KNO_3$$

$$2Mn(NO_3)_2 + 5(NH_4)_2S_2O_8 + 8H_2O \xlongequal{Ag^+催化} 2HMnO_4 + 4HNO_3 + 5(NH_4)_2SO_4 + 5H_2SO_4$$

$$Mn(NO_3)_2 + (NH_4)_2S_2O_8 + 3H_2O = H_2MnO_3 + H_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2HNO_3$$

$$2Mn(NO_3)_2 + 5NaBiO_3 + 16HNO_3 = 2HMnO_4 + 5NaNO_3 + 5Bi(NO_3)_3 + 7H_2O$$

$$2Mn^{2+} + 5BiO_3^- + 14H^+ \xlongequal{} 5Bi^{3+} + \underset{\text{(紫红色)}}{2MnO_4^-} + 7H_2O$$

【$MnCO_3$】　$$MnCO_3 \xlongequal[\text{惰气中}]{100℃\text{以内}} MnO + CO_2\uparrow$$

$$2MnCO_3 + O_2 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} 2MnO(OH)_2 + 2CO_2\uparrow$$

$$MnCO_3 + 2HCl_{(\text{酸})} \xlongequal{} MnCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

（HF、HBr有类似的反应）

$$MnCO_3 + H_2SO_4 \xlongequal{} MnSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

【Mn^{2+}】　$$Mn^{2+} + Br_2 \xlongequal{\text{加醋酸钠}} Mn^{4+} + 2Br^-$$

$$Mn^{2+} + Br_2 + 4CH_3COO^- + 3H_2O \rightleftharpoons MnO(OH)_2 + 4CH_3COOH + 2Br^-$$

$$2Mn^{2+} + O_{2(\text{空气中})} + 4OH^- \xlongequal{} 2MnO(OH)_2$$

$$Mn^{2+} + H_2O_2 + 2OH^- \xlongequal{} MnO(OH)_2\downarrow + H_2O$$

$$Mn^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Mn(OH)_2\downarrow$$

$$Mn^{2+} + 2ClO_3^- \xlongequal{} MnO_2\downarrow + 2ClO_2$$

$$6Mn^{2+} + ClO_3^- + 12PO_4^{3-} + 6H^+ \xlongequal{} \underset{\text{(紫色)}}{6Mn(PO_4)_2^{3-}} + Cl^- + 3H_2O$$

$$3Mn^{2+} + BrO_3^- + 3H_2O \xlongequal{} 3MnO_2\downarrow + Br^- + 6H^+$$

$$3Mn^{2+} + 4HPO_4^{2-} \xlongequal{} \underset{\text{(白色)}}{Mn_3(PO_4)_2\downarrow} + 2H_2PO_4^-$$

$$Mn_3(PO_4)_2 + 2H^+ \rightleftharpoons 3Mn^{2+} + 2HPO_4^{2-}$$

$$Mn^{2+} + PO_4^{3-} + NH_4^+ \rightleftharpoons Mn(NH_4)PO_4$$

$$Mn^{2+} + CO_3^{2-} \rightleftharpoons \underset{\text{(白色)}}{MnCO_3\downarrow}$$

$$3Mn^{2+} + 2CrO_4^{2-} + 4H^+ \xlongequal{} 3MnO_2 + 2Cr^{3+} + 2H_2O$$

$$Mn^{2+} + 2CN^- \rightleftharpoons Mn(CN)_2\downarrow$$

$$Mn(CN)_2 + KCN \rightleftharpoons KMn(CN)_3\downarrow$$

$$KMn(CN)_3 + 3CN^- \rightleftharpoons K^+ + Mn(CN)_6^{4-}$$

$$Mn^{2+} + 6CN^- \rightleftharpoons Mn(CN)_6^{4-}$$

$$Mn(CN)_6^{4-} + 2H_2O \xrightleftharpoons{\text{煮沸}} 2HCN + 4CN^- + Mn(OH)_2\downarrow$$

$$4Mn(CN)_6^{4-} + O_2 + 4H^+ = 4Mn(CN)_6^{3-} + 2H_2O$$

$$Mn^{2+} + 2[Fe(CN)_6]^{3-} + 4OH^- = MnO(OH)_2 + 2[Fe(CN)_6]^{4-} + H_2O$$

$$Mn^{2+} + 2Ag^+ + 4OH^- = MnO(OH)_2\downarrow + 2Ag\downarrow + H_2O$$

$$Mn^2 + H_2Y^{2-}(EDTA) \xrightleftharpoons{pH=6} MnY^{2-} + 2H^+$$

【Mn^{3+}】 $2Mn^{3+} + 2H_2O = MnO_2\downarrow + Mn^{2+} + 4H^+$

$$Mn^{3+} + 6CN^- = Mn(CN)_6^{4-}$$

$$Mn^{3+} + 2PO_4^{3-} \rightleftharpoons [Mn(PO_4)_2]^{3-}$$

（紫色化合物）

$$Mn^{3+} + 3C_2O_4^{2-} = Mn(C_2O_4)_3^{3-}$$

（红色）

【$MnC_4O_6H_4$】 $MnC_4O_6H_4 + 2NH_4OH_{(浓)} + 4H_2O = (NH_4)_2Mn(OH)C_4O_6H_3\cdot5H_2O$

12.2 锝 $4d^5 5s^2$ Tc = 98.9062
铼 $5d^5 6s^2$ Re = 186.2

注：锝和铼的化学性质很相似，下面收集的是以铼为代表的化学反应方程式。

【Re】 **注：**Re不溶解于HCl和HF，与N_2、H_2均无作用。

$$Re + 3F_2 \xlongequal{125℃无氧} ReF_6$$

$$2Re + 5Cl_2 \xlongequal{} 2ReCl_5$$

$$2Re + 3Br_2 \xlongequal[加热至450℃]{在N_2气中} 2ReBr_3$$

（I_2不能发生此反应）

$$4Re + 7O_2 \xlongequal{350℃} 2Re_2O_7$$

$$Re + 2S_{(气)} \xlongequal{高温} ReS_2$$

$$3Re + 7HNO_3 \xlongequal{} 3HReO_4 + 7NO + 2H_2O$$

（Tc也可发生类似反应）

【ReO_2】 $$7ReO_2 \xlongequal{高温} 2R_2O_7 + 3Re$$

$$ReO_2 + Re_2O_7 \xlongequal[加热7天]{300℃} 3ReO_3$$

（在石英管内进行）

$$4ReO_2 + 4KOH + 3O_2 \xlongequal{} 4KReO_4 + 2H_2O$$

$$ReO_2 + 2NaOH \xlongequal{无O_2下熔融} Na_2ReO_3 + H_2O$$

$$4ReO_2 + 2NaReO_4 + 10NaOH \xlongequal{700℃} 3Na_4Re_2O_7 + 5H_2O$$

（土黄色）

【Re_2O_7】 $$Re_2O_7 + 3H_2 \xlongequal{300℃} 2ReO_2 + 3H_2O$$

（暗棕色）

$$Re_2O_7 + H_2O \xlongequal{} 2HReO_4$$

【$HReO_4$】 **注**：$HReO_4$能溶解各种金属、某些金属氧化物、氢氧化物和碳酸盐，生成高铼酸盐（如$KReO_4$、$NaReO_4$）。但$NaReO_4$极不稳定，遇水立即分解为ReO_4^-和Na^+。

$$HReO_4 + 3[H] \xlongequal{} ReO_2 \cdot 2H_2O$$

$$HReO_4 + NH_3 \xlongequal{} NH_4ReO_4$$

$$2HReO_4 + 7H_2S \xlongequal{} Re_2S_7 + 8H_2O$$

（暗棕色固体）

【$KReO_4$】 $2KReO_4 + 7H_2 \xlongequal{800℃} 2Re + 2KOH + 6H_2O$

$2KReO_4 + 7Fe + 8H_2SO_4 = K_2SO_4 + 7FeSO_4 + 2Re + 8H_2O$

$2KReO_4 + 6KF + 16HF = 2K_2ReF_6 + 4KF + 3F_2 + 8H_2O$

（用HCl有类似的反应）

$2KReO_4 + 6KI + 16HCl = 2K_2ReCl_6 + 4KCl + 3I_2 + 8H_2O$

$KReO_4 + H_2S = KReO_3S + H_2O$

【ReF_6】 $3ReF_6 + 12H_2O = 2HReO_4 + Re(OH)_4 + 18HF$

$2ReF_6 + SiO_2 = 2ReOF_4 + SiF_4$

$2ReOF_4 + SiO_2 = 2ReO_2F_2 + SiF_4$

【$ReCl_5$】 $ReCl_5 \xlongequal[\text{加热}]{\text{在}N_2\text{气体中}} ReCl_3 + Cl_2\uparrow$

$2ReCl_5 + 4KCl \xlongequal{\triangle} 2K_2ReCl_6 + 2Cl_2\uparrow$

【Re_2Cl_6】 $Re_2Cl_6 + 6KOH = Re_2O_3 + 6KCl + 3H_2O$

【Re_2S_7】 $Re_2S_7 \xrightarrow[\text{加热}600℃]{\text{惰性气流中}} 2ReS_2 + 3S\uparrow$

【Re^{6+}】 $3Re^{6+} \rightleftharpoons 2Re^{7+} + Re^{4+}$

【Re^{5+}】 $3Re^{5+} \rightleftharpoons Re^{7+} + 2Re^{4+}$

第十三章　铁系元素

13.1　铁　$3d^6 4s^2$　Fe = 55.847

【Fe】　$2Fe + 3Cl_2 \xlongequal{600—800℃} 2FeCl_3$

（Br_2、F_2有类似的反应）

$3Fe_{(粉)} + 4I_2 \xlongequal{混和研磨} Fe_3I_8$（或生成$2FeI_3$、$FeI_2$）

$3Fe + 2O_2 \xlongequal{燃烧} Fe_3O_4$

（温度再高生成Fe_2O_3）

$2Fe + O_2 \xlongequal{1600—1650℃} 2FeO$

$Fe_{(粉)} + Sc_{(粉)} \xlongequal{\triangle} FeS$

$2Fe + N_2 \xlongequal[加热]{催化剂} 2N\text{-}Fe$

$2N\text{-}Fe + 3H_2 \equiv 2NH_3 + 2Fe$

$3Fe + C \xlongequal{1200℃} Fe_3C$

（在高炉内发生的反应）

$4Fe + 2NH_3 \xlongequal{600℃} 2Fe_2N + 3H_2\uparrow$

$Fe + H_2O_{(气)} \xrightleftharpoons{570℃以上} FeO + H_2\uparrow + 7千卡$

$3Fe + 4H_2O_{(气)} \xlongequal{570℃以上} Fe_3O_4 + 4H_2\uparrow + 36.6千卡$

【$KReO_4$】 $2KReO_4 + 7H_2 \xlongequal{800℃} 2Re + 2KOH + 6H_2O$

$2KReO_4 + 7Fe + 8H_2SO_4 = K_2SO_4 + 7FeSO_4 + 2Re + 8H_2O$

$2KReO_4 + 6KF + 16HF = 2K_2ReF_6 + 4KF + 3F_2 + 8H_2O$

（用HCl有类似的反应）

$2KReO_4 + 6KI + 16HCl = 2K_2ReCl_6 + 4KCl + 3I_2 + 8H_2O$

$KReO_4 + H_2S = KReO_3S + H_2O$

【ReF_6】 $3ReF_6 + 12H_2O = 2HReO_4 + Re(OH)_4 + 18HF$

$2ReF_6 + SiO_2 = 2ReOF_4 + SiF_4$

$2ReOF_4 + SiO_2 = 2ReO_2F_2 + SiF_4$

【$ReCl_5$】 $ReCl_5 \xlongequal[\text{加热}]{\text{在}N_2\text{气体中}} ReCl_3 + Cl_2\uparrow$

$2ReCl_5 + 4KCl \xlongequal{\triangle} 2K_2ReCl_5 + 2Cl_2\uparrow$

【Re_2Cl_6】 $Re_2Cl_6 + 6KOH = Re_2O_3 + 6KCl + 3H_2O$

【Re_2S_7】 $Re_2S_7 \xrightarrow[\text{加热}600℃]{\text{惰性气流中}} 2ReS_2 + 3S\uparrow$

【Re^{6+}】 $3Re^{6+} \rightleftharpoons 2Re^{7+} + Re^{4+}$

【Re^{5+}】 $3Re^{5+} \rightleftharpoons Re^{7+} + 2Re^{4+}$

$$3Fe_{(过量)} + 8HNO_{3(稀)} = 3Fe(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$Fe + 4HNO_{3(比重>1.12)} = Fe(NO_3)_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$

$$Fe + 2NH_4Cl_{(固)} \xlongequal{高温} FeCl_2 + 2NH_3\uparrow + H_2\uparrow$$

$$Fe + SnCl_4 = SnCl_2 + FeCl_2$$

$$Fe + FeS_2 \xlongequal{600℃} 2FeS$$

$$4Fe + CaSO_4 \xlongequal{600℃} CaS + 4FeO$$

$$Fe + CuSO_4 = FeSO_4 + Cu\downarrow$$

$$2Fe + CuSO_4 + H_2SO_4 = 2FeSO_4 + Cu\downarrow + H_2\uparrow$$

$$3Fe + NaNO_2 + 5NaOH = \underset{(亚铁酸钠)}{3Na_2FeO_2} + NH_3 + H_2O$$

$$6Na_2FeO_2 + NaNO_2 + 5H_2O = \underset{(铁酸钠)}{6NaFeO_2} + NH_3 + 7NaOH$$

$$Na_2FeO_2 + 2NaFeO_2 + 2H_2O = Fe_3O_4\downarrow + 4NaOH$$

$$7Fe_{(海绵铁)} + 2KReO_4 + 8H_2SO_4 = K_2SO_4 + 7FeSO_4 + 2Re + 8H_2O$$

$$3Fe_{(海绵铁)} + CeMoO_4 + 4H_2SO_4 = CeSO_4 + 3FeSO_4 + Mo + 4H_2O$$

注：爱迪生蓄电池：

阳极：$Fe + 2OH^- \longrightarrow Fe(OH)_2 + 2e^-$

阴极：$NiO_2 + 2H_2O + 2e^- \longrightarrow Ni(OH)_2 + 2OH$

电池内净反应为下式：

$$Fe + NiO_2 + 2H_2O \xrightleftharpoons{放电} Fe(OH)_2 + Ni(OH)_2$$

注：有关钢铁冶炼炉内的一系列反应详见其他书籍。

【FeO】　$6FeO + O_2 = 2Fe_3O_4$

$$Fe_{(粉)} + 5CO \xrightarrow[500大气压]{100-200℃} Fe(CO)_5$$
（五羰基合铁）

注： 铁生锈的反应：

$$Fe + H_2O + CO_2 = FeCO_3 + H_2\uparrow$$
（或生成$Fe(HCO_3)_2 + H_2$）

$$4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 = 4Fe(OH)_3 + 4CO_2\uparrow$$
（或$4Fe(HCO_3)_2 + 2H_2O + O_2 = 4Fe(OH)_3 + 8CO_2\uparrow$）

$$4Fe(OH)_3 = 2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O + 3H_2O$$
（铁锈）

总反应：$4Fe + 2H_2O + 3O_2 = 2(Fe_2O_3 \cdot H_2O)$

$$Fe_{(细粉)} + 4NaOH_{(50\%浓度)} \xrightarrow{无O_2共煮} Na_2[Fe(OH)_4] + 2Na^+$$
（亚铁酸钠）

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Fe + H_2SO_{4(稀)} = FeSO_4 + H_2\uparrow$$
（在隔绝空气下进行）

注： 冷浓H_2SO_4与Fe不起反应，使Fe呈“钝态”。碱不与铁起反应。

$$2Fe + 6H_2SO_{4(热、浓)} = Fe_2(SO_4)_3 + 3SO_2\uparrow + 6H_2O$$

注： 冷、浓HNO_3与Fe不起反应，使Fe呈“钝态”，“钝态”后的Fe不再与HNO_3反应，也不能从硫酸铜溶液中置换出Cu。

$$Fe + 6HNO_{3(热、浓)} = Fe(NO_3)_3 + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$4Fe + 10HNO_{3(稀)} \xrightarrow{冷} 4Fe(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$$

$$4Fe + 10HNO_{3(热、稀)} = 4Fe(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + 5H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3C \xlongequal{\text{炼钢电炉内}} 2Fe + 3CO\uparrow - Q$$

$$Fe_2O_3 + Si \xlongequal{\text{炼钢电炉内}} FeO + SiO_2 + Fe + Q$$

$$Fe_2O_3 + 3Mn \xlongequal{\text{炼钢电炉内}} 3MnO + 2Fe + Q$$

$$Fe_2O_3 + 3SO_3 \xlongequal{\text{熔融}} Fe_2(SO_4)_3$$

$$3Fe_2O_3 + CO \xlongequal{\text{高炉内}} 2Fe_3O_4 + CO_2\uparrow + Q$$

$$Fe_2O_3 + CO \xlongequal{\triangle} 2FeO + CO_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3CO \xlongequal{\text{高炉内}} 3CO_2 + 2Fe + Q$$

$$Fe_2O_3 + 3Na_2O_2 \xlongequal{\text{共熔}} 2Na_2FeO_4 + Na_2O$$

（熔化后，用冰处理）

$$Fe_2O_3 + 2KOH_{(\text{热})} \xlongequal{} 2KFeO_2 + H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 2KOH_{(80\%，\text{过量})} \xlongequal{\text{高温}} K_2Fe_2O_4 + H_2O$$

$$K_2Fe_2O_4 + 2H_2O \xlongequal{} Fe_2O_3 \cdot H_2O + 2KOH$$

$$Fe_2O_3 + 6HCl_{(\text{气})} \xlongequal{200℃} 2FeCl_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2S_{(\text{气})} \xlongequal{60—70℃} Fe_2S_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6H^+ \xlongequal{} 2Fe^{3+} + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 2H_2SO_4 + 13H_2O \xlongequal{} Fe_2O_3 \cdot 2SO_3 \cdot 15H_2O\downarrow$$

$$2Fe_2O_3 + 6H_3PO_4 + H_2O \xlongequal{\text{共沸}} 2Fe_2O_3 \cdot 3P_2O_5 \cdot 10H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6NH_4I \xlongequal{400℃} 2FeI_2 + I_2 + 6NH_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3K_2S_2O_7 \xlongequal{} 3K_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3$$

$$Fe_2O_3 + 3KNO_3 + 4KOH \xlongequal{\text{共熔}} 2K_2FeO_4 + 3KNO_2 + 2H_2O$$

（高铁酸钾）

注：高炉内的反应：

$$FeO + C \xlongequal{950℃以上} Fe + CO\uparrow - Q$$

$$6FeO + nCO \rightleftharpoons 2Fe_3 + 6CO_2 + (n-6)CO + Q$$

$$FeO + nCO \xlongequal{950℃以上} Fe + CO_2 + (n-1)CO + Q$$

注：转炉内的反应：

$$2FeO + Si \xlongequal{} 2Fe + SiO_2 + Q$$

$$FeO + Mn \xlongequal{} Fe + MnO + Q$$

$$FeO + C \xlongequal{} Fe + CO\uparrow - Q$$

$$FeO + SiO_2 \xlongequal{} FeO \cdot SiO_2$$

$$3FeO + 2Al \xlongequal{} 3Fe + Al_2O_3 + 199.5\text{千卡}$$

$$5FeO + 2P \xlongequal{} P_2O_5 + 5Fe + Q$$

$$3FeO + P_2O_5 \xlongequal{} (FeO)_3P_2O_5 + Q$$

（磷酸铁）

$$5FeO + 2P + 3CaO \xlongequal{高温} Ca_3(PO_4)_2 + 5Fe + Q$$

$$FeO + 2HCl \xlongequal{} FeCl_2 + H_2O$$

$$FeO + H_2SO_4(\text{稀}) \xlongequal{} FeSO_4 + H_2O$$

$$FeO + 2H^+ \xlongequal{} Fe^{2+} + H_2O$$

（FeO与无氧化性的酸反应）

$$2FeO + 4H_2SO_4 \xlongequal{} Fe_2(SO_4)_3 + SO_2 + 4H_2O$$

（有H_3PO_4参加的反应）

$$3FeO + 10HNO_3(\text{稀}) \xlongequal{\triangle} 3Fe(NO_3)_3 + NO\uparrow + 5H_2O$$

$$FeO + 4HNO_3 \xlongequal{} Fe(NO_3)_3 + NO_2\uparrow + 2H_2O$$

【Fe_2O_3】 $$6Fe_2O_3 \xlongequal{1500℃} 4Fe_3O_4 + O_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2 \xlongequal{高温} 2Fe + 3H_2O$$

（中间还可生成FeO）

$$Fe_2O_3 + H_2 \xlongequal{高温} 2FeO + H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3C \xlongequal{炼钢电炉内} 2Fe + 3CO\uparrow - Q$$

$$Fe_2O_3 + Si \xlongequal{炼钢电炉内} FeO + SiO_2 + Fe + Q$$

$$Fe_2O_3 + 3Mn \xlongequal{炼钢电炉内} 3MnO + 2Fe + Q$$

$$Fe_2O_3 + 3SO_3 \xlongequal{熔融} Fe_2(SO_4)_3$$

$$3Fe_2O_3 + CO \xlongequal{高炉内} 2Fe_3O_4 + CO_2\uparrow + Q$$

$$Fe_2O_3 + CO \xlongequal{\triangle} 2FeO + CO_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3CO \xlongequal{高炉内} 3CO_2 + 2Fe + Q$$

$$Fe_2O_3 + 3Na_2O_2 \xlongequal{共熔} 2Na_2FeO_4 + Na_2O$$

（熔化后，用冰处理）

$$Fe_2O_3 + 2KOH(热) = 2KFeO_2 + H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 2KOH(80\%，过量) \xlongequal{高温} K_2Fe_2O_4 + H_2O$$

$$K_2Fe_2O_4 + 2H_2O = Fe_2O_3 \cdot H_2O + 2KOH$$

$$Fe_2O_3 + 6HCl(气) \xlongequal{200℃} 2FeCl_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2S(气) \xlongequal{60—70℃} Fe_2S_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6H^+ = 2Fe^{3+} + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 2H_2SO_4 + 13H_2O = Fe_2O_3 \cdot 2SO_3 \cdot 15H_2O\downarrow$$

$$2Fe_2O_3 + 6H_3PO_4 + H_2O \xlongequal{共沸} 2Fe_2O_3 \cdot 3P_2O_5 \cdot 10H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6NH_4I \xlongequal{400℃} 2FeI_2 + I_2 + 6NH_3 + 3H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 3K_2S_2O_7 = 3K_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3$$

$$Fe_2O_3 + 3KNO_3 + 4KOH \xlongequal{共熔} 2K_2FeO_4 + 3KNO_2 + 2H_2O$$

（高铁酸钾）

$$Fe_2O_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{1100℃} 2NaFeO_2 + CO_2\uparrow$$

$$Fe_2O_3 + 3Na_2B_4O_7 \xlongequal{} 6NaBO_2 + 2Fe(BO_2)_3$$

$$Fe(BO_2)_3 + 3HCl \xlongequal{} FeCl_3 + 3HBO_2$$

$$Fe_2O_3(\text{固}) + 3CH_4(\text{气}) \rightleftharpoons 2Fe(\text{固}) + 3CO\uparrow + 6H_2\uparrow - Q$$

【Fe_3O_4】 $$Fe_3O_4 + 4H_2 \xlongequal{\text{高温}} 3Fe + 4H_2O\uparrow$$

$$Fe_3O_4 + 4C \xlongequal{\triangle} 3Fe + 4CO\uparrow$$

$$Fe_3O_4 + 4CO \xlongequal{\text{高温}} 3Fe + 4CO_2\uparrow$$

$$Fe_3O_4 + 8HCl \xlongequal{} 2FeCl_3 + FeCl_2 + 4H_2O$$

$$Fe_3O_4 + 4H_2S \xlongequal{\text{白热}} Fe_3S_4 + 4H_2O\uparrow$$

$$Fe_3S_4 \xlongequal{\text{白热}} 3FeS + S$$

$$6Fe_3O_4 + 31H_2SO_4 + K_2Cr_2O_7 \xlongequal{} Cr_2(SO_4)_3 + 9Fe_2(SO_4)_3 + 31H_2O + K_2SO_4$$

【$Fe(OH)_2$】 $$2Fe(OH)_2 + Cl_2 + 2OH^- \xlongequal{} 2Fe(OH)_3\downarrow + 2Cl^-$$

（白色絮状）

$$2Fe(OH)_2 + I_2 + 2H_2O \xlongequal{} 2Fe(OH)_3 + 2HI$$

$$4Fe(OH)_2(\text{固}) + O_2(\text{空气}) + 2H_2O \xlongequal{\text{碱性介质}} 4Fe(OH)_3\downarrow$$

（红棕色）

$$3Fe(OH)_2 + 2PH_3 \xlongequal{} Fe_3P_2 + 6H_2O$$

（此反应和$FeSO_4 + KOH + P$的反应相类似）

$$2Fe(OH)_2 + H_2O_2 \xlongequal{} 2Fe(OH)_3$$

$$Fe(OH)_2 + Na_2O_2 + 2H_2O \xlongequal{} Fe(OH)_3 + 2Na^+ + 3OH^-$$

$$2Fe^{3+} + Na_2O_2 + 2OH^- + 2H_2O \xlongequal{} 2Fe(OH)_3 + 2Na^+$$

$$Fe(OH)_2 + 2NaOH \xlongequal{} Na_2[Fe(OH)_4]$$

$$Fe(OH)_2 + 2H^+ = Fe^{2+} + 2H_2O$$
（$Fe(OH)_2$不溶于碱）

$$Fe(OH)_2 + H_2CO_3 = FeCO_3\downarrow + H_2O$$

$$Fe(OH)_2 + 2HCl \rightleftharpoons FeCl_2 + 2H_2O$$

$$2Fe(OH)_2 + NaOCl + H_2O = 2Fe(OH)_3 + NaCl$$

$$Fe(OH)_2 + 2HN_4^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2NH_4OH$$

$$Fe(OH)_{2(固)} + MnO_4^- + OH^- = Fe(OH)_{3(固)} + MnO_4^{2-}$$

【$Fe(OH)_3$】　$$2Fe(OH)_3 \xlongequal{加热至1000℃} Fe_2O_3 + 3H_2O\uparrow$$

$$Fe(OH)_{3(新制的)} + NaOH_{(浓)} = NaFeO_2 + 2H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 10NaOH_{(浓)} + 3Cl_2 = 2Na_2FeO_4 + 6NaCl + 8H_2O$$

$$Fe(OH)_3 + 3HF \xlongequal{蒸发} FeF_3\cdot 3H_2O$$
（无色）

$$2Fe(OH)_3 + 6HCl = 2FeCl_3 + 6H_2O$$

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 2HCl + 4CH_3COOH = Fe_2(CH_3COO)_4Cl_2 + 6H_2O$$

$$6Fe(OH)_3 + 3HSCN \xlongequal{加热100℃} FeH(SCNO)_3 + 5Fe(OH)_2 + 5H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S \xlongequal{\triangle} 2FeS + S + 6H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2S \xlongequal{不加热} Fe_2S_3\downarrow + 6H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 3H_2SO_{4(足量)} = Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$Fe(OH)_3 + H_2SO_{4(不足)} = Fe(OH)SO_4 + 2H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 3(NH_4)_2S = Fe_2S_3\downarrow + 6NH_3 + 6H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + 3ClO^- + 4OH^- = 2FeO_4^{2-} + 3Cl^- + 5H_2O$$

$$2Fe(OH)_3 + NaClO_3 + 2Na_2CO_3 = 2Na_2FeO_4 + NaCl + 2CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$4Na_2FeO_4 + 10H_2O = 4Fe(OH)_3 + 8NaOH + 3O_2\uparrow$$

【$FeCl_2$】 $2FeCl_2 + Cl_2 \xlongequal{\triangle} 2FeCl_3$

$$Fe^{2+} + Br_2 = Fe^{3+} + 2Br^-$$

$$2Fe^{2+} + I_{2(固)} = 2Fe^{3+} + 2I^-$$

$$12FeCl_2 + 3O_{2(空气)} \xlongequal{\triangle} 2Fe_2O_3 + 8FeCl_3$$

（反应速度与溶液PH值、温度有关）

$$4FeCl_2 + 3O_{2(空气)} \xlongequal{燃烧} 2Fe_2O_3 + 4Cl_2\uparrow$$

$$4FeCl_2 + O_2 = 2FeOCl + 2FeCl_3$$

$$2FeCl_2 + 3Na_2O_2 + 4H_2O = 2Fe(OH)_3 + 4NaCl + 2NaOH + O_2\uparrow$$

$$4FeCl_2 + SO_2 + 4HCl_{(高浓)} = 4FeCl_3 + S\uparrow + 2H_2O$$

$$3FeCl_2 + 3HCl + HNO_3 \xlongequal{70℃} 3FeCl_3 + NO\uparrow + 2H_2O$$

$$FeCl_2 + 2MCl = M_2[FeCl_4]$$

（M表示碱金属）

$$6FeCl_2 + KClO_3 + 6HCl = 6FeCl_3 + KCl + 3H_2O$$

$$FeCl_2 + NaNO_2 + 2HCl = FeCl_3 + NaCl + NO + H_2O$$

$$FeCl_{2（稀）} + Na_2SO_{3（稀）} + 3H_2O = FeSO_3\cdot 3H_2O\downarrow + 2NaCl$$

（白色）

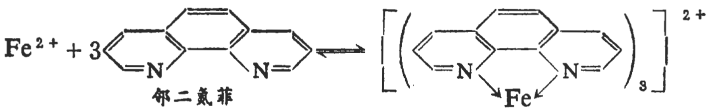
$$3FeCl_2 + 2K_3[Fe(CN)_6] = Fe_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow + 6KCl$$

（铁氰化钾又叫赤血盐）（亚铁氰化铁又叫滕氏蓝）

（常用此法检验Fe^{2+}）

$$2FeCl_2 + K_4[Fe(CN)_6] = Fe_2[Fe(CN)_6]\downarrow + 4KCl$$

（白色）



邻二氮菲　　（桔红色络合物）

（α—联吡啶）　　（红色络合物）

（此法常用来检验Fe^{2+}）

【$FeCl_3$】 $$2FeCl_3 \xrightleftharpoons{真空中200℃} 2FeCl_2 + Cl_2$$

（$FeBr_3$更易分解，$FeCl_3$只部分分解）

$$FeCl_3 + [H] = FeCl_2 + 2HCl$$

$$4FeCl_3 + 3O_2 \xlongequal{燃烧} 2Fe_2O_3 + 6Cl_2\uparrow$$

$$2FeCl_3 + Zn = 2FeCl_2 + ZnCl_2$$

（在酸性溶液中进行反应）

$$2FeCl_3 + Fe = 3FeCl_2$$

$$2FeCl_3 + 3H_2O = Fe_2O_3 + 6HCl$$

$$2FeCl_3 + 4H_2O \xlongequal{慢慢地} Fe_2O_3\cdot H_2O + 6HCl$$

$$FeCl_3 + 3H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3\downarrow + 3HCl$$（主要的）

$$2FeCl_3 + 3H_2O_2(30\%) + 10KOH \xlongequal{冷时} 2K_2FeO_4 + 6KCl + 8H_2O$$

（K_2FeO_4：深红色）

$$K_2FeO_4 + Ba(OH)_2 = BaFeO_4\downarrow + 2KOH$$

（紫红色）

$$2FeCl_3 + SO_2 + 2H_2O = 2FeCl_2 + H_2SO_4 + 2HCl$$

$$2FeCl_3 + 3ZnO + 3H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3ZnCl_2$$

（HgO有类似的反应）

$$FeCl_3 + 3NaOH = Fe(OH)_3\downarrow + 3NaCl$$

$$FeCl_3 + 3NH_4OH = Fe(OH)_3\downarrow + 3NH_4Cl$$

$$Fe^{3+} + 3OH^- \rightleftharpoons \underset{(红褐色)}{Fe(OH)_3\downarrow}$$

$$4FeCl_3 + 2NH_2OH \xlongequal{80—90℃} 4FeCl_2 + 4HCl + N_2O\uparrow + H_2O$$

$$2FeCl_3 + 2HI = 2FeCl_2 + 2HCl + I_2$$

$$2FeCl_3 + H_2S_{(液态)} \xlongequal{加H^+} \underset{(白色)}{2FeCl_2\downarrow} + 2HCl + S\downarrow$$

$$2Fe^{3+} + H_2S_{(气)} = 2Fe^{2+} + 2H^+ + S\downarrow$$

$$FeCl_3 + 3HClO_4 = Fe(ClO_4)_3 + 3HCl$$

$$2FeCl_3 + 2H_2SO_3 + H_2O = 2FeSO_4 + 6HCl$$

$$FeCl_3 + 2CH_3COOH_{(浓)} = Fe(CH_3COO)_2Cl + 2HCl$$

（$FeBr_3$有类似的反应）

$$6FeCl_3 + 2NH_4Cl \xlongequal[封闭管中]{高温} 6FeCl_2 + 8HCl + N_2\uparrow$$

$$FeCl_3 + CuCl = FeCl_2 + CuCl_2$$

$$2FeCl_3 + SnCl_2 = 2FeCl_2 + SnCl_4$$

$$2FeCl_3 + 2KI = 2KCl + 2FeCl_2 + I_2$$

$$Ee^{3+} + 2I^- \xlongequal{加H^+} 2Fe^{2+} + I_2$$

（与Br^-也有类似的反应）

$$2FeCl_3 + 3(NH_4)_2S_x = Fe_2S_3\downarrow + 6NH_4Cl + 3S_{(x-1)}$$

$$FeCl_3 + 2(NH_4)_2S + NH_3 = \underset{(黑色)}{NH_4FeS_2\downarrow} + 3NH_4Cl + NH_3$$

$$2FeCl_3 + 2Na_2SO_3 = Na_2S_2O_6 + 2NaCl + 2FeCl_2$$

$$2FeCl_3 + 2Na_2SO_3 + H_2O = 2FeCl_2 + H_2SO_4 + 2NaCl$$

$$2FeCl_3 + 2Na_2S_2O_3 = 2NaCl + 2FeCl_2 + Na_2S_4O_6$$

$$2FeCl_3 + 6KNO_2 + 2H_2O = 2FeO(OH) + 6KCl + 4NO_2 + 2HNO_3$$

$$FeCl_3 + Na_2HPO_4 + NaC_2H_3O_2 = FePO_4 + HC_2H_3O_2 + 3NaCl$$

$$FeCl_3 + 2Na_2HPO_4 \rightleftharpoons \underset{\text{(黄色)}}{FePO_4\downarrow} + 3NaCl + NaH_2PO_4$$

$$FePO_4 + H^+ \rightleftharpoons Fe^{3+} + HPO_4^{2-}$$

$$2FeCl_3 + 2NaH_2PO_4 = 2FePO_4\downarrow + 2NaCl + 4HCl$$

$$2FeCl_3 + 3Na_2CO_3 + 3H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 6NaCl + 3CO_2\uparrow$$

$$2FeCl_3 + 3(NH_4)_2CO_3 + 3H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 6NH_4Cl + 3CO_2\uparrow$$

总之：$$2Fe^{3+} + 3CO_3^{2-} + 3H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

$$2FeCl_3 + 3K_2CrO_4 = Fe_2(CrO_4)_3\downarrow + 6KCl$$

$$2Fe_2(CrO_4)_3 + 3H_2O = Fe_2O_3\cdot Fe_2(CrO_4)_3 + 3H_2CrO_4$$

$$2FeCl_3 + H_2C_2O_4 = 2FeCl_2 + 2HCl + 2CO_2\uparrow$$

$$3FeCl_3 + 4K_2C_2O_{4(\text{浓})} \xrightarrow{\triangle} K_3[Fe(C_2O_4)_3]\downarrow + 5KCl + 2FeCl_2 + 2CO_2\uparrow$$

$$[Fe(C_2O_4)_3]^{3-} + 6H^+ = Fe^{3+} + 3H_2C_2O_4$$

$$FeCl_3 + 3(NH_4)_2C_2O_4 = (NH_4)_3[Fe(C_2O_4)_3] + 3NH_4Cl$$

$$2FeCl_3 + 3C_2H_4(COONa)_2 + 2H_2O = 6NaCl + 2C_2H_4(COO)_2Fe(OH)\downarrow + C_2H_4(COOH)_2$$

（丁二酸钠） （淡棕色）

$$FeCl_3 + 6C_6H_5OH = H_3[Fe(OC_6H_5)_6] + 3HCl$$

（蓝色络合物）

$$FeCl_3 + 3CH_3COONa + 2H_2O \overset{\triangle}{\rightleftharpoons} Fe(OH)_2CH_3COO\downarrow + 3NaCl + 2CH_3COOH$$

（暗绿色）

$$FeCl_3 + 3HCOONa = Fe(HCO_2)_3 + 3NaCl$$

$$Fe(HCO_2)_3 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} (HCO_2)Fe(OH)_2 + 2HCOOH$$

$$Fe^{3+} + 3C_2H_3O_2^- \rightleftharpoons Fe[C_2H_3O_2]_3$$

（红色）

$$Fe(C_2H_3O_2)_3 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} Fe(OH)_2C_2H_3O_2\downarrow + 2HC_2H_3O_2$$

（棕色）

$$FeCl_3 + 3C_6H_5N(NO)ONH_4 \xlongequal{\text{盐酸液中}} [C_6H_5N(NO)O]_3Fe\downarrow + 3NH_4Cl$$

（试铜铁灵） （淡红棕色）

$$4FeCl_3 + 3K_4[Fe(CN)_6] = Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow + 12KCl$$

（亚铁氰化钾即黄血盐） （亚铁氰化铁即普鲁士蓝）

【$FeBr_2$】 $FeBr_2 + K_2CO_3 = 2KBr + FeCO_3\downarrow$

【FeS】 $FeS + 2O_2 = FeSO_4$

$$3FeS + 5O_2 \xlongequal{\text{煅烧}} Fe_3O_4 + 3SO_2\uparrow$$

$$4FeS + 3O_2 + 6H_2O = 4Fe(OH)_3 + 4S\downarrow$$

$$FeS + Mn \xlongequal{高温} Fe + MnS$$

（炼铁炉内的反应）

$$4FeS + 8H_2O = 4H_2S\uparrow + 4Fe(OH)_2$$ （反应较慢）

$$4Fe(OH)_2 + O_2（空气）+ 2H_2O = 4Fe(OH)_3$$

$$2FeS + 3SO_2（浓）\xlongequal{摇动} 2FeS_2O_3\downarrow + S\downarrow$$

$$FeS + CaO（过量）\overset{\triangle}{\rightleftharpoons} CaS + FeO + 730千卡$$

$$FeS + CaO + C \xlongequal{高温} CaS + CO\uparrow + Fe$$

$$FeS + Cu_2O \xlongequal{高温} Cu_2S + FeO$$

$$FeS + 2HCl_{(稀)} = FeCl_2 + H_2S\uparrow$$

$$FeS + H_2SO_{4(稀)} = FeSO_4 + H_2S\uparrow$$

$$FeS + 2H_2SO_{4(浓)} = FeSO_4 + SO_2\uparrow + S\downarrow + 2H_2O$$

$$FeS + 4HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + S\downarrow + NO\uparrow + 2H_2O$$

（不能生成H_2S）

$$FeS + 6HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + H_2SO_4 + 3NO\uparrow + 2H_2O$$

（因：$S + 2HNO_3 = H_2SO_4 + 2NO\uparrow$）

$$FeS + 2KCN = Fe(CN)_2\downarrow + K_2S$$

$$Fe(CN)_2 + 4KCN = K_4[Fe(CN)_6]$$

（FeS与过量的KCN反应）

$$6FeS + 16SOCl_2 \xrightarrow[150℃]{封闭管中} 6FeCl_3 + 8SO_2\uparrow + 7S_2Cl_2$$

【Fe_2S_3】 $$Fe_2S_3 + 6O_2 = Fe_2(SO_4)_3$$

$$Fe_2S_3 + 4HCl = 2FeCl_2 + S\downarrow + 2H_2S\uparrow$$

$$Fe_2S_3 + 4H^+ = 2Fe^{2+} + 2H_2S\uparrow + S$$

（Fe_2S_3溶于酸而不溶于碱）

$$FeSi + 10HNO_3 = H_4SiO_4 + Fe(NO_3)_3 + 7NO_2 + 3H_2O$$

$$3FeSi + 16HNO_3 = 3H_4SiO_4 + 3Fe(NO_3)_3 + 7NO\uparrow + 2H_2O$$

【$Fe(CO)_5$】 $$2Fe(CO)_5 \xrightarrow[\text{醋酸溶液中}]{\text{日光}} Fe_2(CO)_9 + CO$$

$$Fe(CO)_5 \xrightarrow{\text{真空中，加热140℃}} Fe + 5CO\uparrow$$

$$4Fe(CO)_5 + 13O_2(\text{空气}) \xrightarrow{\text{燃烧}} 2Fe_2O_3 + 20CO_2$$

$$Fe(CO)_5 + X_2 \xrightarrow[-80℃]{\text{醚溶液中}} Fe(CO)_4X_2 + CO + Q$$

（X表示卤素）

$$Fe(CO)_5 + Ba(OH)_2 \xrightarrow{\text{在真空中}} Fe(CO)_4H_2 + BaCO_3\downarrow$$

（黄色，羰基氢化镁）

$$Fe(CO)_5 + H_2SO_4 \xrightarrow{\text{在乙醚中}} FeSO_4 + 5CO\uparrow + H_2\uparrow$$

【$FeSO_4$】 $$2FeSO_4 \xrightarrow{\text{强热}} Fe_2O_3 + SO_2\uparrow + SO_3\uparrow$$

$$2FeSO_4 = 2FeO + 2SO_3$$

$$2(FeSO_4\cdot 7H_2O) \xrightarrow{\text{强热}} Fe_2O_3 + SO_2\uparrow + SO_3\uparrow + 14H_2O$$

$$4FeSO_4 + O_2 = 2Fe_2O(SO_4)_2$$

$$12FeSO_4 + 6H_2O + 3O_2(\text{空气}) = 4Fe_2(SO_4)_3 + 4Fe(OH)_3\downarrow$$

$$4Fe^{2+} + O_2(\text{空气}) + 4H^+ = 4Fe^{3+} + 2H_2O$$

（在酸性溶液中，Fe^{2+}被空气氧化）

$$4FeSO_4 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)SO_4$$

（O_2不足时发生的反应）

$$2Fe^{2+} + H_2O_2 + 4OH^- = 2Fe(OH)_3\downarrow$$

$$Fe_2S_3 + 3Zn(NH_3)_4(OH)_2 = 3ZnS + 2Fe(OH)_3\downarrow + 12NH_3$$

【FeS_2】 $$FeS_2 \xrightarrow[\text{适当的}O_2]{600-700^\circ C} FeS + S\ (\text{蒸气})$$

（制硫磺的反应）

$$3FeS_2 + 8O_2 \xlongequal{\triangle} Fe_3O_4 + 6SO_2\uparrow$$

$$4FeS_2 + 11O_2 \xlongequal{\text{煅烧}} 8SO_2\uparrow + 2Fe_2O_3$$

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O\ (\text{气}) \xlongequal{\text{高温}} 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$3FeS_2 + 12C + 8O_2 \xlongequal{\text{煅烧}} Fe_3O_4 + 12CO\uparrow + 6S\uparrow$$

$$FeS_2 + 5HNO_3 + 3HCl = 2H_2SO_4 + FeCl_3 + 5NO + 2H_2O$$

$$2FeS_2 + 4Na_2CO_3 + 5KClO_3 = 4Na_2SO_4 + Fe_2O_3 + 5KCl + 4CO_2\uparrow$$

【Fe_3P】 $$2Fe_3P + 12HCl = 6FeCl_2 + 2PH_3\downarrow + 3H_2\uparrow$$

$$2Fe_3P + 9H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + 2PH_3\uparrow + 6H_2\uparrow$$

$$3Fe_3P + 41HNO_3 = 9Fe(NO_3)_3 + 14NO + 16H_2O + 3H_3PO_4$$

【Fe_3C】 $$Fe_3C \xlongequal{\triangle} 3Fe + C$$

$$3Fe_3C + 40HNO_3 = 9Fe(NO_3)_3 + 3CO_2\uparrow + 13NO\uparrow + 20H_2O$$

【FeSi】 $$6FeSi + 21Na_2O_2 = 3Fe_2O_3 + 6SiO_2 + 21Na_2O$$

$$2FeSi + 6HCl\ (\text{干燥}) = 2SiHCl_3 + 2Fe + 2H_2\uparrow$$

$$FeSi + 6HF + 8HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + H_2SiF_6 + 4NO_2\uparrow + NO + 6H_2O$$

$$FeSi + H_2SO_4 + 4H_2O = H_4SiO_4 + FeSO_4 + 3H_2\uparrow$$

$$6FeSO_4 + 2H_2CrO_4 + 6H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 8H_2O$$

$$FeSO_4 + \underset{\text{(酒石酸)}}{H_6C_4O_6} + 2NaOH = FeC_4O_6H_4 \cdot 2H_2O\downarrow + Na_2SO_4$$

$$FeSO_4 + H_6C_4O_6 + 3NaOH = FeNaC_4O_6H_3 + Na_2SO_4 + 3H_2O$$

$FeSO_4$与KCN、KOH作用：

$$FeSO_4 + 2KOH = Fe(OH)_2\downarrow + K_2SO_4$$

$$Fe(OH)_2 + 2KCN = Fe(CN)_2 + 2KOH$$

$$+)\quad Fe(CN)_2 + 4KCN = K_4Fe(CN)_6$$

$$FeSO_4 + 6KCN + 2KOH = K_4Fe(CN)_6 + K_2SO_4 + 2KOH$$

$$FeSO_4 + 2KSCN = \underset{\text{(无色)}}{Fe(SCN)_2} + K_2SO_4$$

$$6Fe(SCN)_2 + 3H_2O_2 = \underset{\text{(血红色)}}{4Fe(SCN)_3} + 2Fe(OH)_3$$

$$FeSO_4 + 2KSCN = Fe(SCN)_2 + K_2SO_4$$

$$2Fe(SCN)_2 + Cl_2\text{（氯水）} + 2KSCN = 2KCl + \underset{\text{(血红色)}}{2Fe(SCN)_3}$$

（此法用来检验Fe^{2+}的存在）

$$FeSO_4 + Na_2S = FeS\downarrow + Na_2SO_4$$

$$FeSO_4 + (NH_4)_2S = FeS\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$6FeSO_4 + KClO_3 + 3H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + KCl + 3H_2O$$

$$6FeSO_4 + NaClO_3 + 3H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + NaCl + 3H_2O$$

（$KBrO_3$有类似的反应）

$$2FeSO_4 + H_2O_2 + 4NaOH = 2Fe(OH)_3\downarrow + 2Na_2SO_4$$

$$2FeSO_4 + H_2O_2 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

$$2Fe^{2+} + H_2O_2 + 2H^+ = 2Fe^{3+} + 2H_2O$$

（H_2O_2作为氧化剂）

$$2FeSO_4 + SO_2 + O_2 = Fe_2(SO_4)_3$$

$$6FeSO_4 + 2CrO_3 + 6H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3Fe_2(SO_4)_3 + 6H_2O$$

$$FeSO_4 + 2NaOH \xlongequal{\text{无空气}} Na_2SO_4 + Fe(OH)_2\downarrow$$

$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 \xlongequal{\text{无空气存在}} Fe(OH)_2\downarrow + CaSO_4$$

$$4FeSO_4 + 4Ca(OH)_2 + 2H_2O + O_2 = 4Fe(OH)_3\downarrow + 4CaSO_4$$

$$2FeSO_4 + 2H_2SO_4\text{（浓）} \xlongequal[\text{有}H_3PO_4]{\text{高温}} Fe_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$FeSO_4\text{（饱和）} + H_2SO_4\text{（浓）} \xlongequal{\text{冷却}} FeS_2O_7\downarrow + H_2O$$

$$4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + O_2 = 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

$$2FeSO_4 + H_2SO_4 + O_3 = Fe_2(SO_4)_3 + O_2\uparrow + H_2O$$

$$10FeSO_4 + 2HIO_3 + 5H_2SO_4 = 5Fe_2(SO_4)_3 + I_2 + 6H_2O$$

$$6FeSO_4 + 2HNO_3\text{（稀）} + 3H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$2FeSO_4 + 2HNO_3\text{（浓）} + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 2NO_2 + 2H_2O$$

$$4FeSO_4\text{（冷）} + 2HNO_3 + 2H_2SO_4 = 2Fe_2(SO_4)_3 + N_2O_3 + 3H_2O$$

$$8FeSO_4 + KClO_4 + 4H_2SO_4 = 4Fe_2(SO_4)_3 + KCl + 4H_2O$$

$$FeSO_4 + (NH_4)_2SO_4 = (NH_4)_2Fe(SO_4)_2$$

$$FeSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O = FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6H_2O$$

（淡蓝绿色晶体）

$$2FeSO_4 + 2CuSO_4 + 2KI = 2CuI + K_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3$$

$$2FeSO_4 + CuSO_4 \xrightarrow[\text{碱性条件下}]{\text{电解时}} Fe_2(SO_4)_3 + Cu\downarrow$$

$$2FeSO_4 + Ag_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + 2Ag\downarrow$$

$$2FeSO_4 + (NH_4)_2S_2O_8 = Fe_2(SO_4)_3 + (NH_4)_2SO_4$$

$$6FeSO_4 + 2NaNO_3 + 4H_2SO_{4(\text{浓})} = 3Fe_2(SO_4)_3 + Na_2SO_4 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$FeSO_4 + NO = [Fe(NO)SO_4]$$

（硫酸亚硝基亚铁，棕色环）

即 $Fe^{2+} + NO \longrightarrow [Fe(NO)]^{2+}$

（棕色环）

$$2FeSO_4 + 2NaNO_2 + 2H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + Na_2SO_4 + 2NO\uparrow + 2H_2O$$

$$3Fe^{2+} + 2NO_2^- + 4CH_3COOH = 3Fe^{3+} + 4CH_3COO^- + 2NO + 2H_2O$$

$$3Fe^{2+} + NO_3^- + 4H^+ = 3Fe^{3+} + NO\uparrow + 2H_2O$$

$$FeSO_{4(\text{饱和})} + Pb(NO_3)_{2(\text{饱和})} = PbSO_4\downarrow + Fe(NO_3)_2$$

$$6FeSO_4 + 6AgNO_3 = 2Fe_2(SO_4)_3 + 2Fe(NO_3)_3 + 6Ag\downarrow$$

$$FeSO_4 + K_2CO_3 = FeCO_3\downarrow + K_2SO_4$$

$$10FeSO_4 + 2KMnO_4 + 8H_2SO_4 = 5Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 2MnSO_4 + 8H_2O$$

$$5Fe^{2+} + MnO_4^- + 8H^+ = Mn^{2+} + 5Fe^{3+} + 4H_2O$$

$$6FeSO_4 + K_2Cr_2O_7 + 14HCl = Cr_2(SO_4)_3 + Fe_2(SO_4)_3 + 2KCl + 4FeCl_3 + 7H_2O$$

$$6FeSO_4 + K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 7H_2O$$

$$Fe^{2+} + Ce^{4+} \rightleftharpoons Ce^{3+} + Fe^{3+}$$

【$Fe_2(SO_4)_3$】 $Fe_2(SO_4)_3 \xlongequal{\text{高温}} Fe_2O_3 + 3SO_3\uparrow$

$$Fe_2(SO_4)_3 + Fe = 3FeSO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + H_2O \xlongequal{\text{稀液煮沸}} Fe_2(SO_4)_2O\downarrow + H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O = 2Fe(OH)SO_4 + H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 10H_2O \xlongequal[25℃]{25-28\%\ H_2SO_4} Fe_2(SO_4)_3\cdot 10H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 3SO_2 + 3H_2O = Fe_2(SO_3)_3 + 3H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_3)_3 = Fe(SO_3)_2 + FeSO_3$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaOH = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$2Fe_2(SO_4)_{3(\text{过量})} + 2NH_2OH \xlongequal{\text{酸性}} 4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + N_2O + H_2O$$

$$2Fe_2(SO_4)_3 + 2NH_2OH\cdot HCl \xlongequal[80-90℃]{\triangle} 4FeSO_4 + 2H_2SO_4 + N_2O + 2HCl + H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + H_2SO_3 + H_2O = 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + H_2SO_4(28\%以上) + 9H_2O = Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2SO_4 \cdot 9H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 4H_3PO_4 = 2H_3[Fe(PO_4)_2] + 3H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 6NaCl \xlongequal{共热} 3Na_2SO_4 + 2FeCl_3$$

$$2Fe_2(SO_4)_3 + 12NaCl \xlongequal{空气中加热500℃} 6Na_2SO_4 + 4Fe + 6Cl_2\uparrow$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + SnCl_2 + 2HCl = 2FeSO_4 + SnCl_4 + H_2SO_4$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2KI \xlongequal{\triangle} 2FeSO_4 + K_2SO_4 + I_2$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 5KI + KIO_3 + 3H_2O \xlongequal{煮沸} 2Fe(OH)_3\downarrow + 3K_2SO_4 + 3I_2$$

$$4Fe_2(SO_4)_3 + CuS + 4H_2O = CuSO_4 + 8FeSO_4 + 4H_2SO_4$$

$$2Fe_2(SO_4)_3 + Cu_2S + H_2SO_4 = 4FeSO_4\downarrow + 2CuSO_4 + H_2SO_4 + S$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_3 + 12KCN + 2KOH = 4K_2SO_4 + 2K_4Fe(CN)_6 + H_2O$$

$$2Fe^{3+} + SO_3^{2-} + H_2O = 2Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 2H^+$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + K_2SO_4 + 24H_2O = [K_2SO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O]$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2K_2SO_4 + 14H_2O = [(K_2SO_4)_2 \cdot Fe_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O]$$

$$Fe_2(SO_4)_3 + 2NaH_2PO_4 = 2FePO_4\downarrow + Na_2SO_4 + 2H_2SO_4$$

$$2Fe_2(SO_4)_3+6NH_4H_2PO_4+7H_2O \xlongequal{煮沸} 6NH_4HSO_4+2Fe_2O_3\cdot 3P_2O_5\cdot 10H_2O$$

$$Fe_2(SO_4)_3+3K_2CO_3+3H_2O = 2Fe(OH)_3\downarrow+3K_2SO_4+3CO_2\uparrow$$

【$Fe(NO_3)_2$】 $4Fe(NO_3)_2+O_{2(空气)}+4H_2O = 8HNO_3+2Fe_2O_3$

$$3Fe(NO_3)_2+4HNO_{3(稀)} = 3Fe(NO_3)_3+NO\uparrow+2H_2O$$

$$Fe(NO_3)_2+Pb(NO_3)_2+2KNO_3+6NaNO_3 = 6NaNO_3+\underset{黄色}{FePbK_2(NO_3)_6}\downarrow$$

$$Fe(NO_3)_2+Na_2CO_3 = \underset{(白色)}{FeCO_3}\downarrow+2NaNO_3$$

【$Fe(NO_3)_3$】 $4Fe(NO_3)_3+2H_2O \xlongequal{\triangle} 2Fe_2O(NO_3)_4+4NO_2\uparrow+O_2\uparrow+2H_2O$

$$2Fe(NO_3)_3+2H_2O_{(过量)} = 2Fe(NO_3)_2OH+2HNO_3$$

$$6Fe(NO_3)_3+12H_2O_2+6H_2O = 2Fe(OH)_3+2Fe_2O_3+18HNO_3+6O_2\uparrow+6H_2O$$

$$2Fe(NO_3)_3+H_2S = 2Fe(NO_3)_2+2HNO_3+S$$

$$Fe(NO_3)_3+2H_3PO_4 = H_3[Fe(PO_4)_2]+3HNO_3$$

$$2Fe(NO_3)_3+5CH_3COOH_{(浓)} = Fe_2(C_2H_3O_2)_5NO_3+5HNO_3$$

【Fe^{3+}】 注：三价铁盐水解是逐步进行的，溶液的颜色由棕黄变深棕色。

$$Fe^{3+}+H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)^{2+}+H^+$$

$$Fe^{3+}+2H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_2{}^{+}+2H^+$$

$$Fe^{3+} + 2H_2O \rightleftharpoons FeO(OH) + 3H^+$$

$$4Fe^{3+} + 2NH_2OH = 4Fe^{2+} + N_2O + 4H^+ + H_2O$$

$$2Fe^{3+} + H_2S = 2Fe^{2+} + S\downarrow + 2H^+$$

（反应需在酸性溶液中进行）

$$2Fe^{3+} + 2Br^- = 2Fe^{2+} + Br_2$$

$$Fe^{3+} + 3CN^- + 3H_2O = Fe(OH)_3 + 3HCN$$

$$Fe(OH)_3 + 6CN^-(\text{过量}) = Fe(CN)_6^{3-} + 3OH^-$$

$$Fe^{3+} + nKSCN \longrightarrow [Fe(SCN)_n]^{(3-n)+} + nK^+$$

（红色）

（式中$n = 1—6$）

$$Fe^{3+} + 3SCN^- \xlongequal{\text{加}HCl} Fe(SCN)_3$$

（血红色）

$$Fe(SCN)_3 \rightleftharpoons Fe(SCN)^{2+} + 2SCN^-$$

$$4Fe^{3+} + 3Fe(CN)_6^{4-} = Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow$$

（黑蓝色）

$$2Fe^{3+} + 3(NH_4)_2S = Fe_2S_3\downarrow + 6NH_4^+$$

$$2Fe^{3+} + (NH_4)_2S = 2Fe^{2+} + S\downarrow + 2NH_4^+$$

$$2Fe^{3+} + SO_3^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2Fe^{2+} + SO_4^{2-} + 2H^+$$

$$Fe^{3+} + 2HPO_4^{2-} = FePO_4\downarrow + H_2PO_4^-$$

$$2Fe^{3+} + 3CO_3^{2-} + 2H_2O = 2Fe(OH)CO_3\downarrow + H_2CO_3$$

$$Fe^{3+} + C_2O_4^{2-} \rightleftharpoons Fe(C_2O_4)^+$$

$$Fe^{3+} + C_4H_6O_2^{2-} \rightleftharpoons Fe(C_4H_6O_2)^+$$

$$2Fe^{3+} + C_2H_3OS^- + H_2O \xlongequal{\text{加}H^+} 2Fe^{2+} + CH_3COOH + S\downarrow + H^+$$

$$2Fe^{3+} + 3C_2H_3OS^- + 6OH^- \xlongequal{\text{加}OH^-} 2FeS\downarrow + 3CH_3COO^- + S + 3H_2O$$

【$FeCO_3$】 $FeCO_3 \xlongequal{400℃} FeO + CO_2\uparrow$

$$4FeCO_3 + O_2 \xlongequal{\triangle} 2Fe_2O_3 + 4CO_2\uparrow$$

$$4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 \xlongequal{} 4Fe(OH)_3\downarrow + 4CO_2\uparrow$$

$$FeCO_3 + H_2O + CO_2 \xlongequal{} Fe(HCO_3)_2$$

$$Fe(HCO_3)_2 \rightleftharpoons FeCO_3 + H_2O + CO_2$$

$$4Fe(HCO_3)_2 + 2H_2O + O_2 \xlongequal{} 4Fe(OH)_3 + 8CO_2\uparrow$$

（铁菌体内的反应）

$$4FeCO_3 + 2CO_2 + O_2 \xlongequal{} 2Fe_2(CO_3)_3$$

$$FeCO_3 + 2HCl \xlongequal{} FeCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

【$FeSiO_3$】　$FeSiO_3 + 4KF + 6HCl \xlongequal{} FeCl_2 + 4KCl + SiF_4\uparrow + 3H_2O$

【FeC_2O_4】　$FeC_2O_4 \xlongequal{\text{灼热}} 2CO_2\uparrow + Fe$

$$FeC_2O_4 \xlongequal{\text{隔绝空气加热}} FeO + CO_2 + CO$$

$$FeC_2O_4 + K_2C_2O_4 \xlongequal{} K_2[Fe(C_2O_4)_2]$$

【$K_3[Fe(C_2O_4)_3]$】　$2K_3[Fe(C_2O_4)_3] \xlongequal{\text{见光}} 2K_2[Fe(C_2O_4)_2] + K_2C_2O_4 + 2CO_2\uparrow$

【$K_4[Fe(CN)_6]$】和【$[Fe(CN)_6]^{4-}$】

$$3K_4[Fe(CN)_6] \xlongequal{\text{灼烧}} 12KCN + Fe_3C + 2(CN)_2\uparrow + N_2\uparrow + C$$

$$K_4[Fe(CN)_6] \xlongequal{\triangle} 4KCN + FeC_2 + N_2\uparrow$$

$$K_4[Fe(CN)_6] \xlongequal[\text{加热}]{\text{密封器中}} 4KCN + Fe + 2C + N_2\uparrow$$

$$3Fe + C \xlongequal{\text{高温}} Fe_3C$$

$$2K_4[Fe(CN)_6] + Cl_2 \xlongequal{} 2K_3[Fe(CN)_6] + 2KCl$$

注：$K_4[Fe(CN)_6]$在溶液中的分解。

$$K_4[Fe(CN)_6] \rightleftharpoons K_3[Fe(CN)_5] + KCN$$

$$K_3[Fe(CN)_5] + H_2O \rightleftharpoons K_3[Fe(CN)_5]\cdot H_2O$$

$$KCN + H_2O \rightleftharpoons HCN + KOH$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + H_2O \xlongequal{光} K_3[Fe(CN)_5]\cdot H_2O + KCN$$

$$4K_4[Fe(CN)_6] + 2H_2O + O_2 \underset{光}{\overset{暗}{\rightleftharpoons}} 4K_3[Fe(CN)_6] + 4KOH$$

$$2K_4[Fe(CN)_6] + 2H_2O + 13Cl_2(过量) = 2HCN + 10CNCl + 8KCl + 2FeCl_3 + 2HOCl$$

$$2K_4[Fe(CN)_6] + H_2O_2 = 2K_3[Fe(CN)_6] + 2KOH$$

$$2K_4[Fe(CN)_6] + H_2O_2 + 2HCl = 2K_3[Fe(CN)_6] + 2KCl + 2H_2O$$

$$K_4[Fe(CN)_6](浓液) + 4HCl = H_4[Fe(CN)_6] + 4KCl$$

（生成物用醚抽取后可得一种白色固体）

$$2K_4[Fe(CN)_6] + 6H_2SO_4(稀、沸) \xlongequal{无Fe离子} 6KHSO_4 + \underset{(白色)}{K_2Fe[Fe(CN)_6]\downarrow} + 6HCN$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 3H_2SO_4(3:1稀) \xlongequal{共沸} 6HCN + FeSO_4 + 2K_2SO_4$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 6H_2SO_4(浓) + 6H_2O \xlongequal{共沸} FeSO_4 + 2K_2SO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 6CO\uparrow$$

（上反应还有SO_2放出，因为：

$$2FeSO_4 + 2H_2SO_4(浓) \xlongequal{\triangle} Fe_2(SO_4)_3 + SO_2\uparrow + 2H_2O)$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 11H_2SO_4(浓) + 6H_2O = 6NH_4HSO_4 + 4KHSO_4 + FeSO_4 + 6CO\uparrow$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + \underset{(中等浓度)}{5H_2SO_4\cdot 10H_2O} = 4KHSO_4 + FeSO_4 + 6HCN + 50H_2O$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 8H_2SO_4\cdot 2H_2O = 4KHSO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + FeSO_4 + 6CO + 10H_2O$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 4H_2SO_4(浓、慢慢加入) = 4KHSO_4 + H_4[Fe(CN)_6]$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + HNO_2 + CH_3COOH = K_3Fe(CN)_6 + CH_3COOK + NO + H_2O$$

$$3[Fe(CN)_6]^{4-} + \underbrace{NO_3^- + 4H^+}_{浓} = 3[Fe(CN)_6]^{3-} + NO + 2H_2O$$

$$[Fe(CN)_6]^{3-} + 3Ag^+ \rightleftharpoons \underset{(橙色)}{Ag_3[Fe(CN)_6]}$$

$$K_4[Fe(CN)_6](冷、浓) + CaCl_2 = K_2Ca[Fe(CN)_6] + 2KCl$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 2CaCl_2 = \underset{(黑棕色)}{Ca_2[Fe(CN)_6]\downarrow} + 4KCl$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + BaCl_2 + 3H_2O \xlongequal{煮沸} K_2Ba[Fe(CN)_6]\cdot 3H_2O + 2KCl$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + MgCl_2 + 7H_2O \xlongequal{煮沸} K_2Mg[Fe(CN)_6]\cdot 7H_2O\downarrow + 2KCl$$

$$3K_4[Fe(CN)_6] + 4FeCl_3 = \underset{(普鲁士蓝)}{Fe_4[Fe(CN)_6]_3\downarrow} + 12KCl$$

（普鲁士兰沉淀不溶于稀酸，能被KOH所分解）

$$6K_4[Fe(CN)_6] + 6FeCl_3 \xlongequal{冷时} \underset{(可溶)}{K_6Fe_6[Fe(CN)_6]_6} + 18KCl$$

$$6K_4[Fe(CN)_6] + 8FeCl_3 \xlongequal{\triangle} Fe_8[Fe(CN)_6]_6\downarrow + 24KCl$$

$$K_4[Fe(CN)_6]_{(干燥)} + HgCl_{2(干)} \xlongequal{\triangle} (CN)_2 + 4KCN + FeCl_2 + Hg$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 2AgI = Ag_2I\downarrow + K_3[Fe(CN)_6] + KI$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + Th(NO_3)_4 \rightleftharpoons 4KNO_3 + \underset{(白色)}{Th[Fe(CN)_6]\downarrow}$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 4TiNO_3 = \underset{(亮黄色)}{Ti_4[Fe(CN)_6]\downarrow} + 4KNO_3$$

注：$[Fe(CN)_6]^{4-}$ 与 $TiCl_4$ 作用生成淡红棕色的 $Ti[Fe(CN)_6]$沉淀，，沉淀不溶于NH_4Cl。

$$2K_4[Fe(CN)_6] + 2K_2CO_3 + 15S = 12KSCN + 2FeS + SO_2\uparrow + 2CO_2\uparrow$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + K_2CO_3 \xlongequal{加至红热} 5KCN + KOCN + Fe + CO_2\uparrow$$

$$6K_4[Fe(CN)_6] + 2KMnO_4 + 4H_2O \xlongequal{蒸气浴上加热} 2MnO_2 + 8KOH + 6K_3[Fe(CN)_6]$$

$$5[Fe(CN)_6]^{4-} + MnO_4^- + 8H^+ = 5Fe(CN)_6^{3-} + Mn^{2+} + 4H_2O$$

$$3[Fe(CN)_6]^{4-} + MnO_4^- + 3H_2O = MnO(OH)_2 + 3[Fe(CN)_6]^{3-} + 4OH^-$$

$$5K_4[Fe(CN)_6] + KMnO_4 + 8HCl = 6KCl + 5K_3[Fe(CN)_6] + MnCl_2 + 4H_2O$$

$$[Fe(CN)_6]^{4-} + 2Cd^{2+} = Cd_2[Fe(CN)_6]\downarrow$$

（白色）

（沉淀不溶于稀HCl）

$$[Fe(CN)_6]^{4-} + 2Fe^{2+} \xlongequal{\text{无空气}} Fe_2[Fe(CN)_6]\downarrow$$

（白色）

$$6Fe_2[Fe(CN)_6] + 6H_2O + 3O_2 = 4Fe(OH)_3\downarrow + 2Fe_4[Fe(CN)_6]_3$$

$$Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 8K_2C_2O_4 = 3K_4Fe(CN)_6 + 4KFe(C_2O_4)_2$$

$$[Fe(CN)_6]^{4-} + 2Pb^{2+} \rightleftharpoons Pb_2[Fe(CN)_6]\downarrow$$

（沉淀为白色，不溶于稀HCl、HNO_3）

$$[Fe(CN)_6]^{4-} + 2Cu^{2+} = Cu_2[Fe(CN)_6]\downarrow$$

（沉淀为红褐色，不溶于稀酸）

$$[Fe(CN)_6]^{4-} + 4Ag^+ \rightleftharpoons Ag_4[Fe(CN)_6]\downarrow$$

（白色胶体）

（$Ag_4[Fe(CN)_6]$不溶于稀HNO_3和NH_4OH浓硝酸能氧化它为橙色铁氰化银$Ag_3[Fe(CN)_6]$。）

$$K_4[Fe(CN)_6] + Fe_4[Fe(CN)_6]_3 = 4KFe[Fe(CN)_6]$$

$$K_4[Fe(CN)_6] + 2UO_2Cl_2 = (UO_2)_2[Fe(CN)_6]\downarrow + 4KCl$$

（黑棕色）

$$2K_4[Fe(CN)_6] + 3Fe(NO_3)_2OH = Fe(OH)_3 + 2FeK[Fe(CN)_6] + 6KNO_3$$

（碱性硝酸铁）

注：$[Fe(CN)_6]^{4-}$与钼酸铵的盐酸溶液作用时，生成棕

色的亚铁氰化钼沉淀，此沉淀不溶于稀酸，但溶于碱金属氢氧化物。

【$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$】 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 12NaOH \xlongequal{煮沸} 4Fe(OH)_3\downarrow + 3Na_4[Fe(CN)_6]$

$$Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 8K_2C_2O_4 \xlongequal{\quad} 3K_4[Fe(CN)_6] + 4KFe(C_2O_4)_2$$

【$H_4[Fe(CN)_6]$】 $H_4[Fe(CN)_6] + 2HgCl_2 \xlongequal{\quad} Hg_2[Fe(CN)_6]\downarrow + 4HCl$

$$2H_4[Fe(CN)_6] + 2K_2SO_4 \xlongequal{\quad} 2KHSO_4 + 6HCN + \underset{(尼物利脱氏蓝)}{K_2Fe_2(CN)_6\downarrow}$$

【$Ag_4[Fe(CN)_6]$】 $3Ag_4[Fe(CN)_6] \xlongequal{灼烧} 8(CN)_2\uparrow + Fe_3C + C + 12Ag + N_2\uparrow$

【$K_3[Fe(CN)_6]$】和【$[Fe(CN)_6]^{3-}$】

$$6K_3[Fe(CN)_6] \xlongequal[灼烧]{封闭管中} 18KCN + 2Fe_3C + 3(CN)_2\uparrow + 6N_2\uparrow + 10C$$

$$14K_3[Fe(CN)_6]\ (5\%热液) + 3I_2 \xlongequal{\quad} 2Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 42KCN + 6CNI$$

$$6[Fe(CN)_6]^{3-} + 8NH_3 \rightleftharpoons 6[Fe(CN)_6]^{4-} + N_2\uparrow + 6NH_4^+$$

$$K_3[Fe(CN)_6] + H_2O \rightleftharpoons K_2[Fe(CN)_5]\cdot H_2O + KCN$$

$$K_3[Fe(CN)_6] + 3H_2O \xlongequal{中性} Fe(OH)_3 + 3KCN + 3HCN\uparrow$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-} + H_2O_2 + 2OH^- \xlongequal{\quad} 2[Fe(CN)_6]^{4-} + O_2 + 2H_2O$$

$$4K_3[Fe(CN)_6]+4KOH_{(浓)}\xrightarrow{\triangle}4K_4[Fe(CN)_6]+O_2+2H_2O$$

$$13K_3[Fe(CN)_6]+9KOH+6H_2O=Fe(OH)_3+12K_4[Fe(CN)_6]+6NH_3\uparrow+6CO_2\uparrow$$

（在碱性溶液中的水解反应）

$$2K_3[Fe(CN)_6]+Ba(OH)_2+H_2O_{2(过量)}=O_2\uparrow+K_6Ba[Fe(CN)_6]_2\downarrow+2H_2O$$

（黄色结晶）

$$[Fe(CN)_6]^{3-}+Fe(OH)_2+OH^-=[Fe(CN)_6]^{4-}+Fe(OH)_3\downarrow$$

$$[Fe(CN)_6]^{3-}+6H^+\xrightarrow{\triangle}Fe^{3+}+6HCN\uparrow$$

（冷的稀HCl、稀H_2SO_4不能反应）

$$K_3[Fe(CN)_6]_{(冷)}+3HCl_{(浓)}=H_3[Fe(CN)_6]+3KCl$$

（棕色）

$$2K_3[Fe(CN)_6]+12H_2SO_{4(浓)}+12H_2O\xrightarrow{\triangle}Fe_2(SO_4)_3+12CO\uparrow+3K_2SO_4+6(NH_4)_2SO_4$$

$$2K_3[Fe(CN)_6]+6H_2SO_4\xrightarrow{\triangle}3K_2SO_4+Fe_2(SO_4)_3+12HCN$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-}+2I^-=2[Fe(CN)_6]^{4-}+I_2$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-}+S^{2-}=2[Fe(CN)_6]^{4-}+S\downarrow$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-}+SO_3^{2-}+2OH^-=2[Fe(CN)_6]^{4-}+SO_4^{2-}+H_2O$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-}+HPbO_2^-+OH^-=2[Fe(CN)_6]^{4-}+PbO_2+H_2O$$

注：Fe^{3+}跟$[Fe(CN)_6]^{3-}$在溶液中不产生沉淀，但使溶液变成暗棕色。如：

$$[Fe(CN)_6]^{3-} + Fe^{3+} \rightleftharpoons Fe[Fe(CN)_6]$$
(暗棕色溶液)

$$2[Fe(CN)_6]^{3-} + 3Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$$
(所生沉淀为深蓝色叫邓布尔兰，不溶于酸，可被碱分解)

$$Fe_3[Fe(CN)_6]_2 + 8OH^- \rightleftharpoons 2[Fe(CN)_6]^{4-} + 2Fe(OH)_3 + Fe(OH)_2$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-} + 3Co^{2+} \rightleftharpoons Co_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$$
($Co_3[Fe(CN)_6]_2$为红色沉淀，不溶于HCl，溶于氨水中)

$$2[Fe(CN)_6]^{3-} + 3Cd^{2+} \rightleftharpoons Cd_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$$
($Cd_3[Fe(CN)_6]_2$为橙色沉淀，不溶于稀酸，但溶于浓HNO_3中)

$$2[Fe(CN)_6]^{3-} + Mn^{2+} + 4OH^- = 2[Fe(CN)_6]^{4-} + MnO_2 + 2H_2O$$

$$2[Fe(CN)_6]^{3-} + 3Cu^{2+} = Cu_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow$$
(生成物为绿色沉淀，不溶于盐酸)

$$[Fe(CN)_6]^{3-} + 3Ag^+ \rightleftharpoons Ag_3[Fe(CN)_6]\downarrow$$
($Ag_3[Fe(CN)_6]$为橙色沉淀，不溶于HNO_3，溶于稀氨溶液，与亚铁氰酸根离子不同)

$$Ag_3[Fe(CN)_6] + 6NH_3 \rightleftharpoons 3[Ag(NH_3)_2]^+ + [Fe(CN)_6]^{3-}$$

注：$K_3[Fe(CN)_6]$(稀)与钡盐、钙盐均无作用。

【$K_2H_2[Fe(CN)_6]$】 $3K_2H_2[Fe(CN)_6] + 4FeCl_3 = Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 6KCl + 6HCl$

【其他含铁的化合物】

$$2FeI_2 + 3H_2O_2 = 2Fe(OH)_3\downarrow + 2I_2$$

$$Fe_3I_8 + 4K_2CO_3 = 8KI + Fe_3O_4 + 4CO_2\uparrow$$
(在溶液中反应)

$$3Fe(CN)_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{无}O_2\text{条件下}} Fe_3C + 2(CN)_2\uparrow + N_2\uparrow + C$$

$$Fe_3C \xrightarrow{\triangle} 3Fe + C$$

$$FeAsS + 15HNO_3 + 2NaNO_3 = Fe(NO_3)_3 + H_3AsO_4 + Na_2SO_4 + 14NO_2\uparrow + 6H_2O$$

$$Fe(SCN)_3 + 6F^- = [FeF_6]^{3-} + 3SCN^-$$

$$Fe(SCN)_3 + 4KSCN = K_4[Fe(SCN)_6]$$

$$\underset{\text{(血红色)}}{Fe(SCN)^{2+}} + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons \underset{\text{(红紫色)}}{[Fe(S_2O_3)_2]^-} + SCN^-$$

$$[Fe(S_2O_3)_2]^- \xrightleftharpoons{Cu^{2+}\text{催化}} Fe^{3+} + \underset{\text{(无色)}}{S_4O_6^{2-}}$$

$$4FePO_4 + 2H_3PO_4 + 7H_2O = 2Fe_2O_3\cdot 3P_2O_5\cdot 10H_2O$$

$$3FePO_3 + H_3PO_3 \xlongequal{\triangle} 3FePO_4 + PH_3\uparrow$$

$$Fe_3(PO_4)_2 + 3CaO \xlongequal{\text{高温}} Ca_3(PO_4)_2 + 3FeO$$

（炼钢炉内的反应）

$$Fe_2(C_2O_4)_3 \xlongequal[\text{小心灼热}]{\text{煅烧}} Fe_2O_3 + 3CO_2\uparrow + 3CO\uparrow$$

$$4Fe(CrO_2)_2 + 8K_2CO_3 + 7O_2 \xlongequal[\text{共熔}]{1000-1300℃} 2Fe_2O_3 + 8K_2CrO_4 + 8CO_2\uparrow$$

$$3FeCl(OH)_2 + K_4[Fe(CN)_6] = FeK[Fe(CN)_6] + 3KCl + 2Fe(OH)_3\downarrow$$

$$Fe(CH_3COO)_3 + 2H_2O \xlongequal{\text{稀溶液中煮沸}} \underset{\text{(棕色)}}{Fe(OH)_2CH_3COO\downarrow} + 2CH_3COOH$$

13.2　钴　$3d^74s^2$　Co = 58.9332

注：钴在性质上与铁很相似

【Co】　**注**：钴遇发烟HNO_3呈“钝态”。在高温下能和O_2、S、

Cl_2等反应。反应情况很象铁。

$$3Co + 8HNO_3\text{(冷、稀)} = 3Co(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$

$$5Co + 12HNO_3\text{(极稀)} = 5Co(NO_3)_2 + N_2\uparrow + 6H_2O$$

【CoO】 $$CoO + H_2 \xlongequal{\text{高温}} Co + H_2O$$

$$CoO + 2K + NH_3\text{(液体)} \xlongequal{0℃} Co + KOH + KNH_2$$

$$2CoO + 2H_2O_2 = 2H_2CoO_2 + O_2\uparrow$$

$$2CoO + H_2O_2 + 2H_2O = Co_2O_3\cdot 3H_2O$$

（在碱金属氢氧化物的作用下）

$$CoO + 7HF + 5H_2O \xlongequal{\text{真空蒸馏}} CoF_2(HF)_5\cdot 6H_2O$$

$$CoO + 4HF + 2NH_3\text{(浓)} + H_2O \xlongequal{\text{真空中}} CoF_2\cdot(NH_4F)_2\cdot 2H_2O\downarrow$$

（红色结晶）

$$CoO + 2HCl = CoCl_2 + H_2O$$

$$CoO + H_2S \xlongequal{\text{红热}} CoS + H_2O$$

$$CoO + H_2SO_4\text{(稀)} + 6H_2O \xlongequal{\text{浓缩}} CoSO_4\cdot 7H_2O$$

（结晶）

$$2CoO + 2H_2SO_4 + 12NH_4OH + I_2 = Co_2(NH_3)_{12}\cdot(SO_4)_2\cdot I_2\downarrow + 14H_2O$$

（黄色八面体结晶）

$$2CoO + Co(CN)_2 \xlongequal{\text{高温}} Co_3N_2 + 2CO\uparrow$$

$$2CoO + Co(CN)_2 \xlongequal{\text{高温}} 3Co^{2+} + 2CO\uparrow + N_2\uparrow$$

$$CoO + NaPO_3 = NaCoPO_4$$

$$CoO + Na_2B_4O_7 \xlongequal[878℃]{\text{熔化}} Co(BO_2)_2\cdot 2NaBO_2$$

（深蓝色熔珠）

（Fe_2O_3与$Na_2B_4O_7$或NiO与$Na_2B_4O_7$均有类似的反应）

【Co_2O_3】 $Co_2O_3 + 2K + NH_{3(液态)} \xlongequal{0℃} 2CoO + KOH + KNH_2$

$Co_2O_3 + 6HCl = 2CoCl_2 + Cl_2\uparrow + 3H_2O$

$Co_2O_3 + 6HCl_{(干燥)} \xlongequal{-5℃} 2CoCl_3 + 3H_2O$

$Co_2O_{3(红、热)} + 3H_2S_{(气)} = Co_2S_3 + 3H_2O$

$2Co_2O_3 + 4H_2SO_4 = 4CoSO_4 + O_2\uparrow + 4H_2O$

$Co_2O_3 + 2FeSO_4 = 2CoSO_4 + Fe_2O_3\downarrow$

【Co_3O_4】 $3Co_3O_{4(固)} + 8Al_{(固)} \xlongequal{高温} 9Co_{(固)} + 4Al_2O_{3(固)}$
$+ 963千卡$

$Co_3O_4 + 8HCl = 3CoCl_2 + Cl_2\uparrow + 4H_2O$

【$Co(OH)_2$】 $4Co(OH)_2 + O_{2(空气)} + 2H_2O = 4Co(OH)_3\downarrow$
（黄褐色）

$Co(OH)_2 + NH_3 = Co(OH)_2 \cdot NH_3$

$Co(OH)_2 + H_2O_2 = H_2CoO_3 + H_2O$

$H_2CoO_3 + H_2O_2 = Co(OH)_2 + O_2\uparrow + H_2O$

$2Co(OH)_2 + Na_2O_2 + 2H_2O = 2Co(OH)_3 + 2Na^+$
$+ 2OH^-$

$Co(OH)_2 + 2KOH = K_2CoO_2 + 2H_2O$

$Co(OH)_2 + 2NaOH_{(过量)} = Na_2[Co(OH)_4]$

$Co(OH)_2 + OH^-_{(浓)} \rightleftharpoons HCoO_2^- + H_2O$
（此反应较慢）

$2Co(OH)_2 + 2OH^- + Cl_2 = 2Co(OH)_3\downarrow + 2Cl^-$

$Co(OH)_2 + 2H^+ \rightleftharpoons Co^{2+} + 2H_2O$

$Co(OH)_2 + 2HF = CoF_2 + 2H_2O$

$Co(OH)_2 + 2HF + 2H_2O = CoF_2 \cdot 4H_2O$
（暗红色结晶）

$2Co(OH)_2 + OCl^- + H_2O = 2Co(OH)_3 + Cl^-$

$$Co(OH)_2 + 2HClO_4 \longrightarrow Co(ClO_4)_2 + 2H_2O$$
（暗红色结晶）

$$Co(OH)_{2(新鲜的)} + 2H_3PO_2 + 4H_2O \longrightarrow Co(H_2PO_2)_2 \cdot 6H_2O$$
（真空中蒸发可得）

$$2Co(OH)_2 + K_2S_2O_8 + 2H_2O \xlongequal{水浴上加热} 2Co(OH)_3\downarrow + K_2SO_4 + H_2SO_4$$
（棕黑色）

【$Co(OH)_3$】 $$2H_3CoO_3 + H_2O_2 + 4HCl \longrightarrow 2CoCl_2 + O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$2Co(OH)_3 + 6HCl \longrightarrow 2CoCl_2 + Cl_2\uparrow + 6H_2O$$

$$4Co(OH)_3 + 4H_2SO_4 \longrightarrow 4CoSO_4 + O_2\uparrow + 10H_2O$$

$$2Co(OH)_3 + 6H_2C_2O_{4(冷)} \longrightarrow H_6Co_2(C_2O_4)_6 + 6H_2O$$

$$2Co(OH)_3 + SnCl_2 + 6HCl \longrightarrow 2CoCl_2 + SnCl_4 + 6H_2O$$

$$2Co(OH)_3 + 2KI + 3H_2SO_4 \longrightarrow 2CoSO_4 + I_2 + K_2SO_4 + 6H_2O$$

$$2Co(OH)_3 + 3(NH_4)_2S \longrightarrow 2CoS\downarrow + 6NH_3 \cdot H_2O + S\downarrow$$

$$2Co(OH)_3 + Ti_2(SO_4)_3 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 2Ti(SO_4)_2 + 2CoSO_4 + 6H_2O$$

【$CoCl_2$】 $$\underset{(粉红)}{CoCl_2 \cdot 6H_2O} \xrightleftharpoons{52.25℃} \underset{(紫红)}{CoCl_2 \cdot 2H_2O} \xrightleftharpoons{90℃} \underset{(蓝紫)}{CoCl_2 \cdot H_2O}$$

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O \underset{\downarrow\uparrow}{\overset{120℃}{}} \underset{(蓝色、无水)}{CoCl_2}$$

$$CoCl_2 + NH_3 \longrightarrow CoCl_2 \cdot NH_3$$

$$CoCl_2(固) + 6NH_3(气) = CoCl_2 \cdot 6NH_3\downarrow$$
（紫色）

$$CoCl_2 \cdot 6NH_3 + NO \xlongequal[\text{无空气存在}]{\text{常温}} CoCl_2 \cdot NO \cdot 5NH_3\downarrow + NH_3\uparrow$$
（黑色）

$$3CoCl_2 + 2PH_3 \xlongequal{\text{微热}} Co_3P_2\downarrow + 6HCl$$
（灰色）

（Co_3P_2沉淀不溶于浓HCl）

$$CoCl_2 + H_2O_2 + H_2O = H_2CoO_3 + 2HCl$$

$$2CoCl_2 + Na_2O_2 + 4H_2O = 2Co(OH)_3\downarrow + 2NaCl + 2HCl$$
（微过量）

$$2Co(OH)_3 + 6H_2C_2O_4(冷、饱和) = H_6Co_2(C_2O_4)_6 + 6H_2O$$

$$6CoCl_2 + 5HgO + 2KMnO_4 = 5HgCl_2 + 2KCl + 2MnO_2 + 3Co_2O_3$$

$$6CoCl_2 + 5HgO + 2KMnO_4 + 11H_2O = 6Co(OH)_3 + 5HgCl_2 + 2KCl + 2MnO_2 \cdot H_2O$$

$$4CoCl_2 + 16NH_3 + O_2 + 4NH_4Cl = 4[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2 + 2H_2O$$
（氯化一氯五氨合三价钴，紫红色）

$$CoCl_2 + NH_3 + H_2O = Co(OH)Cl\downarrow + NH_4Cl$$

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O + 5NH_3 + NO = [Co(NH_3)_5(NO)]Cl_2 + 6H_2O$$
（氯化亚硝酰五氨合钴）

$$CoCl_2 + NaOH = Co(OH)Cl\downarrow + NaCl$$
（蓝色）

$$CoCl_2 + 2NaOH(过量) = Co(OH)_2 + 2NaCl$$
（粉红色）

$$2CoCl_2 + 4NaOH + H_2O_2 = 2Co(OH)_3\downarrow + 4NaCl$$

$$CoCl_2 + 2NH_4OH = Co(OH)_2\downarrow + 2NH_4Cl$$

($Co(OH)_2$沉淀溶于过量的NH_3)

$$Co(OH)_2 + NH_3 = Co(OH)_2 \cdot NH_3$$

$$2CoCl_2 + 12KOH + 11CO \xlongequal{\text{半胱氨酸存在}} 2KCo(CO)_4 + 3K_2CO_3 + 4KCl + 6H_2O$$

$$2Co^{2+} + HClO + 5H_2O \xlongequal{PH=3} 2Co(OH)_3 + 5H^+ + Cl^-$$

$$2CoCl_2 + 2NH_4Cl + 10NH_3 + H_2O_2 = 2[Co(NH_3)_6]Cl_3 + 2H_2O$$

(橙黄色晶体)

$$CoCl_2 \cdot 6H_2O + SnCl_4 = CoSnCl_6 \cdot 6H_2O$$

(冷却得菱形结晶)

$$CoCl_2 + 3Ba(CN)_2 = Ba_2[Co(CN)_6] + BaCl_2$$

$$CoCl_2 + 6KCN \xlongequal{\text{低温下}} K_4[Co(CN)_6] + 2KCl$$

$$CoCl_2 + 2KCN + 3H_2O = Co(CN)_2 \cdot 3H_2O\downarrow + 2KCl$$

$$Co^{2+} + 2CN^- \xrightleftharpoons{\text{中性}} Co(CN)_2\downarrow$$

$$CoCl_2 + 4KCNO_{(\text{饱和醇溶液})} = K_2Co(CNO)_4 + 2KCl$$

(蓝色)

$$CoCl_{2(\text{固})} + 6KSCN_{(\text{粉})} \xlongequal{\text{摇动}} K_4Co(SCN)_6 + 2KCl$$

(深蓝色)

$$CoCl_2 + 4NH_4SCN = (NH_4)_2[Co(SCN)_4] + 2NH_4Cl$$

$$Co^{2+} + 4KSCN = K_2[Co(SCN)_4] + 2K^+$$

$$Co^{2+} + (NH_4)_2S = CoS\downarrow + 2NH_4^+$$

(黑色)

$$6CoCl_{2(稀液)} + 5Na_2SO_3 + 12H_2O = 10NaCl + 2HCl + \underset{(结晶)}{[(CoSO_3)_5 \cdot Co(OH)_2 \cdot 10H_2O]\downarrow}$$

$$3CoCl_{2(冷、过量)} + 12KNO_2 + H_2O = 6KCl + 3Co(NO_2)_2 \cdot 6KNO_2 \cdot H_2O\downarrow$$

$$CoCl_{2(用醋酸酸化)} + 5KNO_2 + 2HNO_2 = 2KCl + K_3[Co(NO_2)_6]\downarrow + NO\uparrow + H_2O$$

$$4CoCl_2 + 12NaNO_2 + 4NH_4Cl + 8NH_3 + 8O_2 = 12NaCl + 4\underset{(四硝基二氨合三价钴酸铵)}{[Co(NH_3)_2(NO_2)_4]} + 8H_2O$$

$$Co^{2+} + \underbrace{7NO_2^- + 3K^+}_{(过量)} + \underset{(少量)}{2HC_2H_3O_2} \xlongequal{\triangle} \underset{(黄色)}{K_3[Co(NO_2)_6]\downarrow} + NO\uparrow + H_2O + 2CH_3COO^-$$

$$4CoCl_2 + 8NH_4NO_2 + 12NH_3 + O_2 = 4NH_4Cl + 4[Co(NO_2)_2Cl \cdot 4NH_3] + 2H_2O$$

$$4CoCl_2 + 4NH_4NO_2 + 16NH_3 + O_2 = 4[Co(NO_2)Cl_2 \cdot 5NH_3]\downarrow + 2H_2O$$

$$4CoCl_2 + 12NH_4NO_2 + 8NH_3 + O_2 = 2[Co_2(NO_2)_6 \cdot 6NH_3]\downarrow + 8NH_4Cl + 2H_2O$$

$$CoCl_2 + (NH_4)_2HPO_4 + H_2O \xlongequal[蒸干]{105℃} CoNH_4PO_4 \cdot H_2O\downarrow + NH_4Cl + HCl$$

$$4CoCl_2 + 4(NH_4)_2CO_3 + 12NH_3 + O_2 = 4NH_4Cl + 4\underset{(氯化碳酸基四氨合三价钴)}{[Co(NH_3)_4(CO_3)]Cl} + 2H_2O$$

$$CoCl_2 + 2K_2CO_{3(浓)} + 4H_2O = \underset{(结晶)}{K_2CO_3 \cdot CoCO_3 \cdot 4H_2O\downarrow} + 2KCl$$

$$CoCl_2 + Na_2CO_3 = CoCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$2CoCl_2 + 2Na_2CO_3 + 4S \xlongequal{\triangle} Co_2S_3 + 4NaCl + 2CO_2\uparrow + SO_2\uparrow$$

$$CoCl_2 + NaHCO_{3(有CO_2饱和)} \xlongequal[加热140℃]{封闭管内} CoCO_3\downarrow + NaCl + HCl$$

$$CoCl_2 + Na_2B_4O_7 = CoB_4O_7 + 2NaCl$$

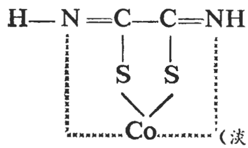
$$CoCl_2\cdot 6H_2O + Na_2MoO_4 \xlongequal{蒸发} CoMoO_4\cdot H_2O\downarrow + 2NaCl + 5H_2O$$

$$CoCl_{2(固)} + Na_2WO_{4(固)} \xlongequal[高温]{熔化} CoWO_4 + 2NaCl$$

$$CoCl_2 + 2KHF_2 \xlongequal{220℃} K_2CoF_4 + 2HCl$$

$$CoCl_2 + 2NH_2OH\cdot 2HCl \xlongequal{\triangle} CoCl_2\cdot 2NH_2OH\downarrow + 2HCl$$

$$Co^{2+} + \underset{(二硫基乙二胺)}{(CSNH_2)_2} + 2CH_3COO^- =$$



$+ 2CH_3COOH$

(淡黄色)

$$Co^{2+} + S^{2-} + 2H^+ + 2C_2H_3O_2^- = CoS\downarrow + 2CH_3COOH$$

$$Co^{2+} + 6NH_3 + 6H_2O = [Co(NH_4)_6]^{2+} + 6OH^-$$

$$2Co^{2+} + 2ZnO + O_2 \xlongequal{\triangle} \underset{(绿色)}{2CoZnO_2}$$

$$3Co^{2+} + 2[Fe(CN)_6]^{3-} \rightleftharpoons \underset{(红色)}{Co_3[Fe(CN)_6]_2\downarrow}$$

$$2Co^{2+} + [Fe(CN)_6]^{4-} \rightleftharpoons Co_2[Fe(CN)_6]\downarrow$$

（产物为绿色沉淀，不溶于稀HCl）

$$CoCl_2\cdot 6NH_3 + 2H_2O = Co(OH)_2\downarrow + 2NH_4Cl + 4NH_3$$

【$CoCl_3$】、【$CoCl_3\cdot xNH_3$】、【$CoCl_3\cdot xNH_3\cdot$少量H_2O】

$$2CoCl_3 + 12KNO_2(\text{酸化后}) + 3H_2O = Co_2(NO_2)_6\cdot 6KNO_2\cdot 3H_2O + 6KCl$$

（结晶）

$$CoCl_3 + 3C_{10}H_6(NO)OH = Co(C_{10}H_6(NO)O)_3\downarrow + 3HCl$$

（α-亚硝基-β-萘酚）　　（淡红紫色）

$$2CoCl_3\cdot 6NH_3 + 6KOH \xlongequal{\text{煮沸}} Co_2O_3\downarrow + 12NH_3\uparrow + 6KCl + 3H_2O$$

$$CoCl_3\cdot 6NH_3 + 3AgNO_3 = 3AgCl\downarrow + Co(NO_3)_3\cdot 6NH_3$$

$$2CoCl_3\cdot 5NH_3\cdot 3H_2O \xlongequal[\text{煮沸}]{\text{加}OH^-} Co_2O_3 + 5NH_3\uparrow + 6HCl$$

$$2CoCl_3(H_2O)6NH_3 + 6NaOH = Co_2(OH)_6\cdot 6NH_3 + 6NaCl + 2H_2O$$

【$Co(OH)Cl$】　$Co(OH)Cl + NaOH = Co(OH)_2\downarrow + NaCl$

$$Co(OH)Cl + 7NH_4OH = [Co(NH_3)_6](OH)_2 + NH_4Cl + 6H_2O$$

【CoS】　$CoS + 2H^+ + H_2O_2 \xlongequal{\triangle} Co^{2+} + S\downarrow + 2H_2O$

$$3CoS + 6HCl + KClO_3 \rightleftharpoons 3CoCl_2 + KCl + 3S\downarrow + 3H_2O$$

$$3CoS + 8HNO_3 = 3Co(NO_3)_2 + 3S\downarrow + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$CoS + Pb(NO_3)_2 = Co(NO_3)_2 + PbS\downarrow$$

【$Co(CN)_2$】　$2Co(CN)_2 + 8KCN + 2H_2O$

$$\xrightarrow[\triangle]{\text{无空气}} 2K_3[Co(CN)_6]\downarrow + 2KOH + H_2\uparrow$$

$$Co(CN)_2 + 4CN^- \rightleftharpoons Co(CN)_6^{4-}$$

【$Co(SCN)_2$】 $Co(SCN)_2 + 2KNH_2 = Co(NH_2)_2\downarrow + 2KSCN$

（溶于液体氨）（溶于液体氨）　蓝色凝絮状

$$Co(SCN)_2 + 2KSCN(或(NH_4SCN) = K_2[Co(SCN)_4]$$

$$Co(SCN)_{2(浓)} + AgSCN_{(固)} + 2H_2O = CoAg(SCN)_3\cdot 2H_2O$$

（蓝色）

【$Co(IO_3)_2$】 $Co(IO_3)_2 + 6NH_3 = Co(IO_3)_2\cdot 6NH_3$

（浓氢氧化铵液）

$$Co(IO_3)_2\cdot 6NH_{3(浓)} + NO \xlongequal{\text{无空气下}} Co(IO_3)_2\cdot NO\cdot 5NH_3\downarrow + NH_3\uparrow$$

（黑棕色）

【$CoSO_4$】 $CoSO_4 + 6NH_3 = CoSO_4\cdot 6NH_3$

（干燥的$CoSO_4$可吸收60%的NH_3）

$$2CoSO_4 + MnO_2 + H_2O = Co_2O_3 + MnSO_4 + H_2SO_4$$

$$2CoSO_4 + Mn_2O_3 = Co_2O_3 + 2MnSO_4$$

$$4CoSO_4 + 4PbO_2 + 6H_2O = 4Co(OH)_3\downarrow + 4PbSO_4 + O_2$$

$$2CoSO_4 + PbO_2 + H_2O = Co_2O_3 + H_2SO_4 + PbSO_4$$

$$2CoSO_4 + 10NH_4OH + I_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{蒸发}} Co_2(NH_3)_{10}\cdot(SO_4)_2I_2\cdot 2H_2O + 8H_2O$$

（八面结晶体）

$$CoSO_4 + 6NH_4OH = [Co(NH_3)_6]SO_4 + 6H_2O$$

$$CoSO_4 + 4KOH = K_2CoO_2 + K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$CoSO_4 + 2KOH = Co(OH)_2\downarrow + K_2SO_4$$

（加NaOH有类似的反应）

$$CoSO_4 + H_2S \xlongequal{\text{加酒石酸和}Na_2CO_3} CoS\downarrow + H_2SO_4$$

$$CoSO_4 + 2H_3PO_4\text{（过量）} \xlongequal{316℃} Co(PO_3)_2\downarrow + SO_3 + 3H_2O$$

$$3CoSO_4 + 5KI + KIO_3 + 3H_2O = 3Co(OH)_2 + 3K_2SO_4 + 3I_2$$

$$6Co(OH)_2 + KIO_3 + 3H_2O = 6Co(OH)_3 + KI$$

$$CoSO_4\text{（过量）} + 4KCN = K_2Co(CN)_4\downarrow + K_2SO_4$$

（淡棕红色）

$$CoSO_4 + 6(NH_4)SCN = (NH_4)_4Co(SCN)_6 + (NH_4)_2SO_4$$

$$CoSO_4 + 6KSCN = K_4Co(SCN)_6 + K_2SO_4$$

$$CoSO_4 + Ba(SCN)_2 + 4H_2O = BaSO_4\downarrow + Co(SCN)_2\cdot 4H_2O$$

$$2CoSO_4 + NaOCl + 2H_2O = Co_2O_3\downarrow + NaCl + 2H_2SO_4$$

$$CoSO_4 + Ba(ClO_3)_2 + 6H_2O = BaSO_4\downarrow + Co(ClO_3)_2\cdot 6H_2O$$

$$CoSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O = (NH_4)_2Co(SO_4)_2\cdot 6H_2O\downarrow$$

（结晶）

$$3CoSO_4 + 2(NH_4)_3AsO_4 + 8H_2O = Co_3(AsO_4)_2\cdot 8H_2O\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

（红色结晶）

$$4CoSO_4 + 4(NH_4)_2CO_3 + 12NH_3 + 4H_2O + O_2 = 2(NH_4)_2SO_4 + 2[Co(NH_3)_4CO_3]_2SO_4\cdot 3H_2O$$

$$2CoSO_4 + 4BaCO_3\text{(过量)} + 12HCN = Ba_3[Co(CN)_6]_2 + BaSO_4\downarrow + H_2SO_4 + 4CO_2\uparrow + H_2\uparrow + 4H_2O$$

$$2CoSO_4 + 2KMnO_4 + 5H_2O_2 = 2(CoMnO_3\cdot 2H_2O)\downarrow + K_2SO_4 + H_2SO_4 + 4O_2\uparrow$$

$$2CoSO_4 + K_4Fe(CN)_6 \xrightarrow{\text{氨性溶液中}} Co_2[Fe(CN)_6] + 2K_2SO_4$$

$$CoSO_4 + Na_2Fe(CN)_5NO\text{(浓液)} = CoFe(CN)_5NO\downarrow\text{(淡红色粉末)} + Na_2SO_4$$

$$2CoSO_4 + 4CH_3COOH + 7K_2C_2O_4 + PbO_2 = 2K_2SO_4 + 2K_3Co(C_2O_4)_3 + PbC_2O_4 + 4KC_2H_3O_2 + 2H_2O$$

【$Co(NO_3)_2$】 $2[Co(NO_3)_2\cdot 6H_2O] + H_2O_2 + 10NaHCO_3 = 2\{Na_3[Co(CO_3)_3]\cdot 3H_2O\} + 4NaNO_3 + 4CO_2\uparrow + 12H_2O$

$$Co(NO_3)_2 + 6NH_3 + 2KI = CoI_2\cdot 6NH_3\downarrow\text{(肉色)} + 2KNO_3$$

$$4Co(NO_3)_2 + 24NH_3 + 4HF + O_2\text{(空气)} \xrightarrow{\text{放置48小时}} 4[Co(NH_3)_6(NO_3)_2F]\downarrow\text{(黄色结晶)} + 2H_2O$$

$$Co(NO_3)_2 + 2KIO_3 \xrightarrow[80-90℃]{\text{加}HNO_3} Co(IO_3)_2 + 2KNO_3$$

$$Co(NO_3)_2\text{(饱和)} + 7KNO_2 + 2CH_3COOH = 2KCH_3COO + K_3[Co(NO_2)_6]\downarrow\text{(黄色)} + 2KNO_3 + NO + H_2O$$

$$Co(NO_3)_2 + 5\,NaNO_3(\text{热溶液}) + 2HC_2H_3O_2(\text{冰醋酸})$$

$$\xlongequal[\text{通入空气}]{\text{加}90\%\text{的乙醇}} Na_3Co(NO_3)_6\downarrow + 2NaC_2H_3O_2 + NO_2 + H_2O$$

$$4Co(NO_3)_2 + 4NH_4NO_3 + 20NH_3 + O_2 =\!=\!= 4[Co(NH_3)_6](NO_3)_3 + 2H_2O$$

（硝酸六氨合三价钴）

$$6Co(NO_3)_2\ (0.05M) + 5KHCO_3\ (0.5M) + 2H_2O =\!=\!= 5KNO_3 + 5CoCO_3\cdot Co(OH)_2\downarrow + 7HNO_3$$

$$2Co(NO_3)_2\left(\frac{1}{20}M\right) + 4\,KHCO_3\left(\frac{1}{10}M\right) =\!=\!= CoCO_3\cdot Co(OH)_2 + 4KNO_3 + 3CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Co(NO_3)_2 + (NH_4)_2CO_3 =\!=\!= CoCO_3\downarrow + 2NH_4NO_3$$

$$CoCO_3 + H_2O =\!=\!= Co(OH)_2 + CO_2\uparrow$$

$$Co(NO_3)_2 + 2\,(NH_4)_2CO_3\ (\text{过量}) + 4H_2O \xlongequal{\text{放冷}} (NH_4)_2CO_3\cdot CoCO_3\cdot 4H_2O + 2NH_4NO_3$$

$$4Co(NO_3)_2 + 4(NH_4)_2CO_3 + 12NH_3 + O_2 =\!=\!= 4NH_4NO_3 + 4[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3 + 2H_2O$$

（硝酸一碳酸基四氨合三价钴）

$$Co(NO_3)_2 + K_2CrO_4 =\!=\!= CoCrO_4\downarrow + 2KNO_3$$

$$2Co(NO_3)_2 + H_4[Fe(CN)_6] + 7H_2O =\!=\!= Co_2[Fe(CN)_6]\cdot 7H_2O + 4HNO_3$$

$$3Co(NO_3)_2\ (4\%) + 2K_3[Cr(CN)_6]\ (2\%) =\!=\!= Co_3Cr_2(CN)_{12} + 6KNO_3$$

$$Co(NO_3)_2 + \underset{(\text{酒石酸})}{C_4O_6H_6} + 2NH_4OH =\!=\!= CoC_4O_6H_4 + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$$

$$Co(NO_3)_2 + \underset{(\text{酒石酸})}{C_4O_6H_6} + 3NH_4OH =\!=\!= NH_4C_4O_6H_5 + Co(OH)_2\downarrow + 2NH_4NO_3 + H_2O$$

$$Co(NO_3)_2 + C_4O_6H_6 + 2NaOH = CoC_4O_6H_4 + 2NaNO_3 + 2H_2O$$

（酒石酸）

$$Co(NO_3)_2 + C_4O_6H_6 + 3NaOH = NaCoC_4O_6H_3 + 2NaNO_3 + 3H_2O$$

$$Co(NO_3)_2 + C_4O_6H_6 + 4NaOH = Na_2CoC_4O_6H_2 + 2NaNO_3 + 4H_2O$$

【$CoCO_3$】 $CoCO_3 \xlongequal{\triangle} CoO + CO_2\uparrow$

$$2CoCO_3 + 2H_2 + 8CO_2 \xlongequal[300P]{200℃} Co_2(CO_2)_8 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O\uparrow$$

$$2CoCO_3 + H_2O_2 \xlongequal{KHCO_3存在下} Co_2O(CO_3)_2 + H_2O$$

$$CoCO_3 + 2HF = CoF_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$2CoCO_3 + 6HF + 12H_2O = 2[CoF_2 \cdot HF \cdot 6H_2O] + 2H_2CO_3$$

$$CoCO_3 + 2HClO_4 \xlongequal[加H_2SO_4]{真空蒸发} Co(ClO_4)_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CoCO_3 + 2HIO_3（温热） = Co(IO_3)_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CoCO_3 + H_2SO_3 + 4H_2O \xlongequal{醇} \underset{（结晶）}{CoSO_3 \cdot 5H_2O} + CO_2\uparrow$$

$$CoCO_3 + H_2SO_4 = CoSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CoCO_3 + H_2SO_{4(稀)} + 6H_2O \xlongequal{浓缩} \underset{（结晶）}{CoSO_4 \cdot 7H_2O} + CO_2\uparrow$$

$$CoCO_3 + 2HNO_{3(稀)} = Co(NO_3)_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$2CoCO_3 + 2H_3PO_4 + H_2O \xlongequal{煮沸} (CoHPO_4)_2 \cdot 3H_2O + 2CO_2\uparrow$$

$$CoCO_3 + H_2CrO_4 \xlongequal{\triangle} CoCrO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CoCO_3 + 2CH_3COOH = (CH_3COO)_2Co + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$4Co(CH_3COO)_2 + 24KCN + O_2 + 2H_2O = 4K_3[Co(CN)_6] + 8CH_3COOK + 4KOH$$

$$2CoCO_3 + 4KHCO_3 + H_2O_2 = [Co(KCO_3)_2]_2O + 2CO_2\uparrow + 3H_2O$$

【$Co(CO)_4$】（四羰钴）　$Co(CO)_4 + Br_2 = CoBr_2 + 4CO\uparrow$

$$2Co(CO)_4 + 6HNO_3 = 2Co(NO_3)_2 + 8CO + NO\uparrow + NO_2\uparrow + 3H_2O$$

【CoC_2O_4】　$3CoC_2O_4 + 4KOH \xlongequal{无O_2} CoC_2O_4\cdot 2Co(OH)_2\downarrow + 2K_2C_2O_4$

$$CoC_2O_4 + K_2Cr_2O_4 = K_2[Co(C_2O_4)_2]$$

【$Co(NO_2)_6Na_3$】　$Co(NO_2)_6Na_3 + 3NaOH \rightleftharpoons Co(OH)_3\downarrow + 6NaNO_2$

$$Co(NO_2)_6Na_3 + 6HCl \rightleftharpoons CoCl_3 + 3NaCl + 3NO\uparrow + 3NO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$\underset{(过量)}{Co(NO_2)_6Na_3 + 3KCl} = \underset{(黄色)}{K_3Co(NO_2)_6\downarrow} + 3NaCl$$

$$Co(NO_2)_6Na_3 + 3AgNO_3 = Ag_3Co(NO_2)_6 + 3NaNO_3$$

【$Co(NO_2)_3\cdot 3NH_3$】　$Co(NO_2)_3\cdot 3NH_3 + HCl_{(浓)} = \underset{(红色)}{Co(NO_2)_2Cl\cdot 3NH_3} + HNO_2$

$$Co(NO_2)_3\cdot 3NH_3 + \underset{(10\%乙二胺)}{C_2H_2(NH_2)_2} \xlongequal[蒸发]{\triangle} Co(NO_2)_3C_2H_4(NH_2)_2\cdot NH_3 + 2NH_3\uparrow$$

【$Co_2(NH_3)_{12}(SO_4)_2I_2$】 $Co_2(NH_3)_{12}(SO_4)_2I_2 + 6HCl \xlongequal{} Co_2(NH_3)_{12}Cl_6 + 2H_2SO_4 + 2HI$

$$Co_2(NH_3)_{12}(SO_4)_2I_2 + 6HNO_3 \xlongequal{} Co_2(NH_3)_{12}(NO_3)_6 + 2H_2SO_4 + 2HI$$

【$Co_2(NO_3)_4(NO)_2(NH_3)_{10}\cdot H_2O$】

$$Co_2(NO_3)_4(NO)_2(NH_3)_{10}\cdot H_2O + 6HCl_{(浓)} \xlongequal{} 4HNO_3 + 2CoCl_3\cdot 5NH_3\downarrow + N_2O + 2H_2O$$

$$Co_2(NO_3)_4(NO)_2(NH_3)_{10}\cdot H_2O + 6HBr \xlongequal{} 2CoBr_3\cdot 5NH_3\downarrow + 4HNO_3 + N_2O + 2H_2O$$

$$Co_2(NO_3)_4(NO)_2(NH_3)_{10}\cdot H_2O + AgNO_3 \xlongequal{} Co_2(NO_3)_4(NO)_2(NH_3)_{10}\cdot AgNO_3\downarrow + H_2O$$

【$H_3[Co(CN)_6]$】 $H_3[Co(CN)_6] + 3NH_4OH \xlongequal{蒸发} (NH_4)_3Co(CN)_6\cdot H_2O\downarrow + 2H_2O$

$$2H_3[Co(CN)_6] + 3BaCO_3 \xlongequal{蒸发} Ba_3[Co(CN)_6]_2 + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

【$Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3$】

$$Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3 + NH_4OH \xlongequal{} \underset{(红色结晶)}{Co(NO_2)Cl(OH)(H_2O)\cdot 4NH_3\downarrow} + NH_4Cl$$

$$Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3 + H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{} 2HCl + \underset{(黄色)}{Co(NO_2)(SO_4)(H_2O)\cdot 4NH_3}$$

$$Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3 + 2HNO_{3(稀)} \xlongequal{} 2HCl + \underset{(黄色结晶)}{Co(NO_2)(NO_3)_2(H_2O)\cdot 4NH_3\downarrow}$$

$$Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3 + NH_4Cl \xlongequal{\triangle}$$

$$Co(NO_2)Cl_2\cdot 5NH_3 + HCl + H_2O$$

$$Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3 + (NH_4)_2C_2O_4 = 2NH_4Cl + Co(NO_2)(C_2O_4)(H_2O)\cdot 4NH_3\downarrow$$

（橙红色结晶）

【$K_4[Co(CN)_6]$】 $2K_4[Co(CN)_6] + Cl_2 = 2K_3[Co(CN)_6] + 2KCl$

（用H_2O_2、HOCl、$HClO_3$等替代Cl_2均有类似的反应）

$$4K_4[Co(CN)_6] + O_2\text{（空气）} + 2H_2O = 4K_3[Co(CN)_6] + 4KOH$$

$$2K_4[Co(CN)_6] + 2H_2O \xlongequal{\text{热溶液中}} 2K_3[Co(CN)_6] + 2KOH + H_2\uparrow$$

$$2K_4[Co(CN)_6] + NaOCl + H_2O = 2K_3[Co(CN)_6] + 2KOH + NaCl$$

【$K_3[Co(CN)_6]$】 $K_3[CO(CN)_6] + H_2O \xlongequal{\text{光}} K_3[Co(CN)_5OH] + HCN$

$$K_3[Co(CN)_6] + H_2O \xlongequal{\text{光}} K_2[Co(CN)_5H_2O] + KCN$$

$$2K_3[Co(CN)_6] + 6H_2SO_4\text{（稀）} + 2H_2O = 3K_2SO_4 + 2CoSO_4 + (NH_4)HSO_4 + 11HCN + CO_2$$

$$2K_3[Co(CN)_6] + 11H_2SO_4\text{（浓）} + 13H_2O = 3K_2SO_4 + 6(NH_4)_2SO_4 + 2CoSO_4 + 11CO\uparrow + CO_2\uparrow$$

$$K_3[Co(CN)_6] + 3HNO_3\text{（过量）} \xlongequal{\triangle} H_3[Co(CN)_6] + 3KNO_3$$

$$K_3[Co(CN)_6] + 3HNO_3 + 5H_2O \xlongequal{\text{蒸发至干}} H_3[Co(CN)_6]\cdot 5H_2O + 3KNO_3$$

（用H_2SO_4有类似的反应）

$$3K_3[Co(CN)_6]_{(浓)} + 9HNO_3 + H_2O \xlongequal{共煮} \underset{(红色)}{KH_2Co_3(CN)_{11} \cdot H_2O} + 8KNO_3 + 6HCN + HOCN + NO_2\uparrow$$

$$2K_3[Co(CN)_6] + 3ZnSO_4 = \underset{(白色)}{Zn_3[Co(CN)_6]_2\downarrow} + 3K_2SO_4$$

$$2K_3[Co(CN)_6] + 3FeSO_4 = \underset{(黄色)}{Fe_3[Co(CN)_6]_2\downarrow} + 3K_2SO_4$$

$$2K_3[Co(CN)_6] + 3CuSO_4 = Cu_3[Co(CN)_6]_2\downarrow + 3K_2SO_4$$

$$K_3[Co(CN)_6] + 3AgNO_3 = Ag_3[Co(CN)_6]\downarrow + 3KNO_3$$

【其他含钴的化合物】

$$2CoF_2 + F_2 \xlongequal{300℃} 2CoF_3$$

$$CoBr_2 \cdot 6H_2O + 2AgNO_3 = Co(NO_3)_2 + 2AgBr\downarrow + 6H_2O$$

$$\underset{(绿色)}{CoI_2 \cdot 2H_2O} + 4H_2O = \underset{(红色)}{CoI_2 \cdot 6H_2O}$$

$$CoI_{2(浓)} + 4NH_3 \rightleftharpoons \underset{(淡红色结晶)}{CoI_2 \cdot 4NH_3}$$

$$Co(SCN)_6^{4-} + 6Ag^+ = Co^{2+} + 2AgSCN\downarrow$$

$$2CoO(OH) + 6HCl_{(浓)} = 2CoCl_2 + Cl_2 + 4H_2O$$

$$4Co(NH_3)_5Cl_3 + 2H_2O = 4CoCl_2 + 4NH_4Cl + 16NH_3 + O_2$$

$$\underset{(氯化一氯五氨合钴)}{[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2} + NH_3 = \underset{(氯化六氨三价钴)}{[Co(NH_3)_6]Cl_3}$$

$$[Co(NH_3)_6]Cl_2 + 6H_2O \rightleftharpoons Co(OH)_2 + 4NH_4OH + 2NH_4Cl$$

$$4Co(NH_3)_6^{2+} + O_2\text{(空气)} + 2H_2O \rightleftharpoons 4Co(NH_3)_6^{3+} + 4OH^-$$

$$Co(NH_3)_6^{3+} + 6H^+ + 6H_2O = Co(H_2O)_6^{3+} + 6NH_4^+$$

$$4[Co(NH_3)_6](OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4[Co(NH_3)_6](OH)_3$$

$$[Co(NH_3)_4CO_3]NO_3 + 2HNO_3 + H_2O = \underset{\text{(黄色)}}{[Co(NH_3)_4(H_2O)_2](NO_3)_3} + CO_2\uparrow$$

$$[Co(NH_3)_4(H_2O)_2](NO_3)_3 + 2NaNO_2 = 2NaNO_3 + \underset{\text{(硝酸二硝基四氨合三价钴)}}{[Co(NH_3)_4(NO_2)_2]NO_3} + 2H_2O$$

$$Co(NH_3)_3(NO_2)_3 + 3H_2O \xlongequal{\text{中性}} Co(OH)_3\downarrow + 3NH_4NO_2$$

$$2Co(NH_3)_3(NO_2)_3 + H_2O + 4H^+ \xlongequal{\text{酸性}} 2Co^{2+} + NH_4NO_3 + 5NH_4NO_2$$

$$Co(NH_3)_6(NO_2)_6Co + 6HCl_{(稀)} = \underset{\text{(黄色)}}{CoCl_3(NH_3)_6\downarrow} + 6HNO_2 + CoCl_3$$

$$Co(NO_2)Cl_2\cdot 4NH_3 + H_2O = Co(NO_2)Cl_2(H_2O)\cdot 4NH_3\downarrow$$

$$Co(NO_2)_2Cl\cdot 3NH_3 + HBr = \underset{\text{(红色结晶)}}{Co(NO_2)_2Br\cdot 3NH_3} + HCl$$

$$2Co(NO_2)_2Cl\cdot 3NH_3 + H_2SO_4 + 2H_2O = \underset{\text{(黄色结晶)}}{Co_2(NO_2)_4SO_4(H_2O)_2\cdot 6NH_3} + 2HCl$$

$$2K_2Co(C_2O_4)_2 + 3H_2O + H_2O_2\ (20\%) = [K_2Co(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O]_2O$$

$$K_2Co(C_2O_4)_2 \xrightleftharpoons{光} 2K^+ + Co(C_2O_4)_2^=$$

$$Co(C_2O_4)_2^= \xrightleftharpoons{光} Co^{2+} + 2C_2O_4^{2-}$$

$$2K_3Co(C_2O_4)_3 \xlongequal{光} 2K_2Co(C_2O_4)_2 + K_2C_2O_4 + 2CO_2\uparrow$$

$$CoCrO_4 + 2HNO_3(稀) = Co(NO_3)_2 + H_2CrO_4$$

$$CoCrO_4Cl \cdot 5NH_3 + AgNO_3 = \underset{(淡红黄色)}{CoCrO_4NO_3 \cdot 5NH_3} + AgCl\downarrow$$

$$CoCrO_4NO_3 \cdot 4NH_3 + 2AgNO_3 + 2H_2O = Ag_2CrO_4\downarrow + Co(NO_3)_3 \cdot (H_2O)_2 \cdot 4NH_3$$

$$(CoCrO_4)_2 \cdot Cr_2O_7 \cdot 8NH_3 + 2AgNO_3 + 2H_2O = Ag_2Cr_2O_7\downarrow + (CoNO_3 \cdot CrO_4 \cdot H_2O)_2 \cdot 8NH_3$$

$$Co(NO_2)_2 + NO_2 = Co(NO_2)_3$$

$$Co_2(CO_3)_3 + 6KOH + 6N_2O_3(气) = 2K_3Co(NO_2)_6 + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$K_2CoO_3 + 2H_2SO_4(稀) = K_2SO_4 + \underset{(含氧硫酸钴)}{CoOSO_4} + 2H_2O$$

$$2NH_4CoPO_4 \xlongequal{灼烧} Co_2P_2O_7 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$KH_2Co_3(CN)_{11} \cdot H_2O + 3AgNO_3 = \underset{(橙红色)}{Ag_3Co_3(CN)_{11} \cdot H_2O\downarrow} + KNO_3 + 2HNO_3$$

$$Co_2(OH)_2Cl_4 \cdot 8NH_3 + 2HCl(浓) \xlongequal{低温} Co(OH)_2Cl_3 \cdot 4NH_3 + H_2 + CoCl_3 \cdot 4NH_3$$

$$Co_2(SO_4)_2(NO)_2(NH_3)_{10}\cdot 2H_2O + 6HCl(浓) = 2H_2SO_4 + 2CoCl_3\cdot 5NH_3\downarrow + N_2O + 3H_2O$$

$$Co(NH_3)_5NH_2Co(NH_3)_5Cl_5 + HCl \xrightarrow[在水浴上加热]{加H_2SO_4} Co(NH_3)_6Cl_3 + Co(NH_3)_5Cl_3$$

$$[Co_2(NH_3)_6(OH)_2NH_2]Cl_3 + 2HCl(浓) \xrightarrow{\triangle} [(NH_3)_3H_2OClCoNH_2CoCl_2(NH_3)_3]Cl_2 + H_2O$$

$$CoNH_4(SO_3)_2\cdot 4NH_3 + KOH = CoK(SO_3)_2\cdot 4NH_3 + NH_3 + H_2O$$

13.3 镍 $3d^84s^2$ Ni＝58.71

【Ni】 $Ni(粉) + Al(粉) \xrightarrow{1300℃} NiAl$

$$Ni(粉) + 4CO \xrightarrow[100—200℃]{常压加热} [Ni(CO)_4]$$

（四羰基合镍，无色液体）

注： Ni难溶于HCl、H_2SO_4，遇发烟的HNO_3呈"钝态"。

$$3Ni + 8HNO_3(冷、稀) = 3Ni(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$Ni + 4HNO_3(热、浓) = Ni(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2Ni + 2HNO_3 + 2H_2SO_4 = 2NiSO_4 + NO_2\uparrow + NO\uparrow + 3H_2O$$

【NiO】 $NiO + H_2 \xrightarrow{\triangle} Ni + H_2O$

$$NiO + 2HCl = NiCl_2 + H_2O$$

$$NiO + H_2SO_4 = NiSO_4 + H_2O$$

$$NiO_{(固)} + Na_2B_4O_7{}_{(固)} \xrightarrow{熔化} Ni(BO_2)_2 \cdot 2NaBO_2$$

（棕色熔珠）

【Ni_2O_3】 $Ni_2O_3 + 6HCl = 2NiCl_2 + Cl_2\uparrow + 3H_2O$

$$Ni_2O_3 + 2HI = 2NiO + I_2 + H_2O$$

$$2Ni_2O_3 + 4H_2SO_4 = 4NiSO_4 + O_2\uparrow + 4H_2O$$

$$Ni_2O_3 + 2KI + 2HCl = 2KCl + 2NiO + I_2 + H_2O$$

【$Ni(OH)_2$】 $2Ni(OH)_2 + Cl_2 + 2OH^- = 2Ni(OH)_3 + 2Cl^-$

$$Ni(OH)_2 + 6NH_3 = [Ni(NH_3)_6]^{2+} + 2OH^-$$

〔使Ni(OH)溶解〕

$$Ni(OH)_2 + 2HF \xrightarrow{加热蒸发} NiF_2 \cdot 2H_2O\downarrow$$

$$Ni(OH)_2 + 2HBr + 6NH_3 \cdot H_2O = [Ni(NH_3)_6]Br_2\downarrow + 8H_2O$$

（黄色结晶）

$$Ni(OH)_2 + 2H^+ \rightleftharpoons Ni^{2+} + 2H_2O$$

$$Ni(OH)_2 + 4NH_4F \xrightarrow{\triangle} NiF_2(NH_4F)_2 \cdot 2H_2O\downarrow + 2NH_3$$

$$2Ni(OH)_2 + NaOCl + H_2O = 2Ni(OH)_3 + NaCl$$

【$Ni(OH)_3$】 $2Ni(OH)_3 + Fe \underset{充电}{\overset{放电}{\rightleftharpoons}} Fe(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$（碱性蓄电池的化学反应）

$$2Ni(OH)_3 + 6HCl = 2NiCl_2 + Cl_2 + 6H_2O$$

$$2Ni(OH)_3 + 2KI + 6HCl = 2NiCl_2 + I_2 + 2KCl + 6H_2O$$

【$NiCl_2$】 $NiCl_2 \cdot 7H_2O \overset{-33.3℃}{\rightleftharpoons} NiCl_2 \cdot 6H_2O \overset{28.8℃}{\rightleftharpoons}$

$$NiCl_2 \cdot 4H_2O \overset{64℃}{\rightleftharpoons} NiCl_2 \cdot 2H_2O$$

$$NiCl_2 + NH_3 + H_2O = Ni(OH)Cl + NH_4Cl$$

$$2NiCl_2 + 4KOH + H_2O_2 \xlongequal{\triangle} 4KCl + 2Ni(OH)_3\downarrow$$
（黑色）

$$NiCl_2 + 2NaOH = 2NaCl + Ni(OH)_2\downarrow$$

$$NiCl_2 + H_2S + 2NaC_2H_3O_2 = NiS\downarrow + 2NaCl + 2CH_3COOH$$

$$NiCl_2 + 4HNO_{3(热、浓)} = Ni(NO_3)_2 + 2HCl + N_2O + 2O_2 + H_2O$$

$$NiCl_2 + 4HNO_3 \xlongequal{灼烧} NiO + 2HCl\uparrow + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow + H_2O$$

$$NiCl_2 + (NH_4)_2S \xlongequal{\triangle} NiS\downarrow + 2NH_4Cl$$

$$NiCl_2 + 2NaClO_4 + 3H_2O = Ni(ClO_4)_2\cdot 3H_2O + 2NaCl$$

$$NiCl_2 + 2Na_2S_2O_4 = NiS + 2NaCl + Na_2SO_4 + 2SO_2$$

$$NiCl_2 + 2NaHCO_3 \xlongequal{低温} NiCO_3\downarrow + 2NaCl + CO_2 + H_2O$$
（结晶）

$$NiCl_2 + 2K_2CrO_4 + 2H_2O = NiCrO_4\cdot K_2CrO_4\cdot 2H_2O\downarrow + 2KCl$$
（黄色）

$$NiCl_2 + 2(NH_4)_2CrO_4 + 6H_2O = NiCrO_4\cdot(NH_4)_2CrO_4\cdot 6H_2O\downarrow + 2NH_4Cl$$

【NiS】　$NiS + 2O_{2(空气)} = NiSO_4$

$$3NiS + 8HNO_{3(热、浓)} = 3Ni(NO_3)_2 + 2NO + 3S + 4H_2O$$

$$3NiS + 2HNO_3 + 6HCl = 3NiCl_2 + 2NO + 3S + 4H_2O$$

$$3NiS + 6HCl + KClO_3 \rightleftharpoons 3NiCl_2 + KCl + 3S + 3H_2O$$

[Ni(OH)Cl] $$Ni(OH)Cl + 6NH_3 \rightleftharpoons [Ni(NH_3)_6]^{2+} + Cl^- + OH^-$$

$$Ni(OH)Cl + 7NH_3 + H_2O = Ni(NH_3)_6(OH)_2 + NH_4Cl$$

[$K_2Ni(CN)_4$] $$2Ni(CN)_4^{2-} + 9Br_2 + 6OH^- \rightleftharpoons 2Ni(OH)_3 + 8CNBr + 10Br^-$$

$$K_2Ni(CN)_4 + 2HCl = 2KCl + 2HCN\uparrow + Ni(CN)_2\downarrow$$

$$2K_2Ni(CN)_4 + NaOCl + 5H_2O = 2Ni(OH)_3 + NaCl + 4KCN + 4HCN$$

$$K_2Ni(CN)_4 + 4AgNO_3 = 4AgCN + 2KNO_3 + Ni(NO_3)_2$$

$$K_2Ni(CN)_4 + 2HCHO = Ni(CN)_2 + 2CH_2(CN)OK$$

[$NiSO_4$] $$NiSO_4 + 6NH_3 = [Ni(NH_3)_6]SO_4$$

$$NiSO_4 + 6NH_4OH = [Ni(NH_3)_6]SO_4 + 6H_2O$$

$$NiSO_4 + H_2S = NiS\downarrow + H_2SO_4$$

$$3NiSO_4 + 5KI + KIO_3 + 3H_2O = 3Ni(OH)_2\downarrow + 3K_2SO_4 + 3I_2$$

$$NiSO_4 + 4KCN = K_2[Ni(CN)_4] + K_2SO_4$$

$$NiSO_4 + 4KSCN = \underset{\text{(橙黄色)}}{K_2[Ni(SCN)_4]} + K_2SO_4$$

$$NiSO_4 + 4NH_4SCN = (NH_4)_2[Ni(SCN)_4] + (NH_4)_2SO_4$$

$$NiSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 6H_2O = (NH_4)_2 \cdot Ni(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$$

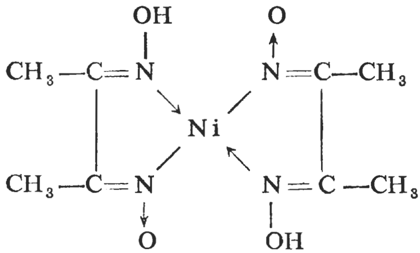
$$NiSO_{4(\text{稀})} + K_2CO_3\ (\text{过量}) \xlongequal{\text{煮沸}} K_2SO_4 + NiCO_3$$

$$NiSO_4 + 2(NH_4)_2CrO_{4(\text{浓})} + 2NH_4OH_{(\text{浓})} = (NH_4)_2SO_4 + (NH_4)_2Ni(CrO_4)_2 \cdot 2NH_3 + 2H_2O$$

$$3NiSO_4\ (\text{无水}) + 2CHCl_3 \xlongequal{300℃\ \text{干燥}CO_2\text{气}} 3NiCl_2\ (\text{无水}) + 2CO + 3SO_3 + H_2O$$

$$NiSO_4 + H_2C_2O_4 \xlongequal{\text{煮沸}} NiC_2O_4\downarrow + H_2SO_4$$

$$NiSO_4 + 2(\underset{(\text{丁二酮肟})}{CH_3-C{=}NOH})_2 + 2NH_4OH = (NH_4)_2SO_4 + 2H_2O$$

\+ 

（玫瑰红色结晶）

[Ni(NO₃)₂]　$Ni(NO_3)_2 + 6NH_3 + 2KI = \underset{(\text{灰色结晶})}{NiI_2 \cdot 6NH_3\downarrow} + 2KNO_3$

$$Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + 2KOH \xlongequal{\text{常温}} Ni(OH)_2\downarrow + 2KNO_3 + 6H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + 2NaOH \xlongequal{\text{煮沸}} Ni(OH)_2\downarrow + 2NaNO_3$$

$$Ni(NO_3)_2 + 4KCN = Ni(CN)_2 \cdot 2KCN + 2KNO_3$$

$$Ni(NO_3)_2 + Na_2S = NiS\downarrow + 2NaNO_3$$

$$2Ni(NO_3)_{2(稀)} + 2(NH_4)_2CO_{3(稀)} + H_2O = 4NH_4NO_3 + Ni_2(OH)_2CO_3\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$Ni_2(OH)_2CO_3 + 6(NH_4)_2CO_3 = 2Ni(NH_3)_6CO_3 + 5CO_2\uparrow + 7H_2O$$

$$7Ni(NO_3)_2 + 2K_2CO_3 + 10H_2O = (NiCO_3)_2[Ni(OH)_2]_5 + 4KNO_3 + 10HNO_3$$

$$Ni(NO_3)_2 + \underset{(羟基乙酸酐)}{C_4H_6O_5} + 2NH_4OH = NiC_4H_4O_5 + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + \underset{(羟基乙酸酐)}{3C_4H_6O_5} + 7NH_4OH = 2NH_4NO_3 + 2(NH_4)_2C_4H_4O_5 + NiNH_4C_4H_3O_5 + 7H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + C_4H_6O_5 + 2NaOH = NiC_4H_4O_5\downarrow + 2NaNO_3 + 2H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + \underset{(酒石酸)}{C_4H_6O_6} + 3NaOH = NiNaC_4H_3O_6 + 2NaNO_3 + 3H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + C_4H_6O_6 + 4NaOH = NiNa_2C_4H_2O_6 + 2NaNO_3 + 4H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + 2C_4H_6O_6 + 4NaOH = Na_2Ni(C_4H_4O_6)_2 + 2NaNO_3 + 4H_2O$$

$$Ni(NO_3)_2 + 2C_4H_6O_6 + 6NaOH = Na_2NiC_4H_2O_6 + 2NaNO_3 + Na_2C_4H_4O_6 + 6H_2O$$

【$NiCO_3$】 $4NiCO_3 + O_2 \xlongequal{\triangle} 2Ni_2O_3 + 4CO_2\uparrow$

$$NiCO_3 + 2HF = NiF_2\cdot H_2O + CO_2\uparrow$$

$$NiCO_3 + H_2SO_4 = NiSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$NiCO_3 + H_2CrO_4 \xlongequal{\triangle} NiCrO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$NiCO_3 + 4KCN \xlongequal{} K_2Ni(CN)_4 + K_2CO_3$$

【$Ni(CO)_4$】 $$Ni(CO)_4 \xlongequal{\triangle} Ni + 4CO\uparrow$$

$$Ni(CO)_4 + Cl_2 \xlongequal{CCl_4中} NiCl_2 + 4CO\uparrow$$

$$Ni(CO)_4 + (CN)_2 \xlongequal{醇溶液中} Ni(CN)_2 + 4CO\uparrow$$

$$Ni(CO)_4 + CS_2 \xlongequal{} NiS + 4CO\uparrow + CS$$

$$2Ni(CO)_4 + CS_2 \xlongequal{} 2NiS + 8CO + C$$

$$Ni(CO)_4 + 2HI \xlongequal{} NiI_2 + 4CO\uparrow + H_2\uparrow$$

$$Ni(CO)_4 + H_2S \xlongequal{酒精中} NiS + 4CO\uparrow + H_2\uparrow$$

$$Ni(CO)_4 + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{} NiSO_4 + 4CO\uparrow + H_2\uparrow$$

【Ni^{2+}】 $$Ni^{2+} + 2CN^- \rightleftharpoons Ni(CN)_2$$

$$Ni^{2+} + 4CN^- \rightleftharpoons Ni(CN)_4^{2-}$$

$$Ni(CN)_4^{2-} + 2H^+ \rightleftharpoons H_2Ni(CN)_4$$

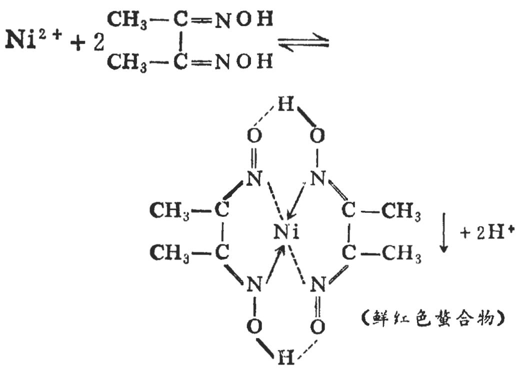
$$H_2Ni(CN)_4 \rightleftharpoons 2HCN + Ni(CN)_2$$

$$Ni^{2+} + OH^- + Cl^- \rightleftharpoons Ni(OH)Cl\downarrow$$

（无NH_4^+存在）

$$2Ni^{2+} + 2OH^- + SO_4^{2-} \xlongequal{} Ni_2SO_4(OH)_2\downarrow$$

$$3Ni + 4HPO_4^{2-} \rightleftharpoons 2H_2PO_4^- + Ni_3(PO_4)_2\downarrow$$



（鲜红色螯合物）

【其他含镍的化合物】

$$Ni_3N_2 + 8HCl \xlongequal{} 3NiCl_2 + 2NH_4Cl$$

$$2NiO(OH) + 6HCl_{(浓)} \xlongequal{} 2NiCl_2 + Cl_2 + 4H_2O$$

$$2K_4[Ni(CN)_4] + 2H_2O \xlongequal{} 2K_2[Ni(CN)_3] + 2KCN + 2KOH + H_2\uparrow$$

$$Ni(SCN)_2 + 4KSCN \xlongequal{} K_4[Ni(SCN)_6]$$

$$Ni(CN)_2 + \underset{(丁二酮二肟)}{2C_4H_8O_2N_2} \xlongequal{} Ni(C_4H_7O_2N_2)_2 + 2HCN$$

$$Ni_2SO_4(OH)_2 + 12NH_3 \rightleftharpoons 2Ni(NH_3)_6^{2+} + SO_4^{2-} + 2OH^-$$

$$NiC_2O_4 + 2NaOH \xlongequal{煮沸} NiO + Na_2C_2O_4 + H_2O$$

$$NiC_2O_4 + K_2C_2O_4 \xlongequal{} K_2[Ni(C_2O_4)_2]$$

$$Ni(NH_2)_2 + 2H_2O \xlongequal{} Ni(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

第十四章　铂系元素

铂系元素包括钌、铑、钯、锇、铱、铂等六个元素。它们都属于稀有元素。

14．1　钌　$4d^7 5d^1$　Ru＝101.07

【Ru】　$Ru \xrightarrow{KOH+KClO_3} K_2RuO_4 \xrightarrow{Cl_2} KRuO_4 \xrightarrow{Cl_2} RuO_4$

氧化态：O　　+6　　+7　　+8

$\xrightarrow{108℃} RuO_2 + O_2$

+4

$$2Ru_{(粉)} + 5F_2 \xlongequal{300℃} 2RuF_5$$

$$Ru + O_2 \xlongequal{高温} RuO_2$$

$$Ru_{(细粉)} + 5CO \xlongequal[400P]{300℃} Ru(CO)_5$$

$$Ru + 3Na_2O_2 \xlongequal{熔融} Na_2RuO_4 + 2Na_2O$$

【RuO_4】　$RuO_4 + 8HCl \xlongequal{\triangle} RuCl_4 + 2Cl_2\uparrow + 4H_2O$

$$4RuO_4 + 12HCl \xlongequal{} 4RuCl_3 + 5O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$2RuO_4 + 8H_2SO_3 \xlongequal{在盐酸中} Ru_2(SO_3)_3 + 5H_2SO_4 + 3H_2O$$

$$2RuO_4 + 16HCl + 4KCl \xlongequal{} 2K_2RuCl_6 + 5Cl_2\uparrow + 8H_2O$$

$$RuO_4 + 3HCl + HNO_3 + 2KCl = K_2RuCl_5 \cdot NO + 2O_2\uparrow + 2H_2O$$

【Ru(OH)$_4$】 $$Ru(OH)_4 + 4HCl_{(浓)} \xrightarrow{加热低于沸点} RuCl_4 + 4H_2O$$

【RuCl$_3$】 $$2RuCl_3 + 3Zn = \underset{(黑色)}{2Ru} + 3ZnCl_2$$

$$RuCl_3 + 3KOH = Ru(OH)_3\downarrow + 3KCl$$

$$2RuCl_3 + 3H_2S_{(气)} = \underset{(棕色)}{Ru_2S_3}\downarrow + 6HCl$$

（与$(NH_4)_2S$有类似的反应）

$$RuCl_3 + 2KCl \xrightarrow{强酸性} K_2RuCl_5\downarrow$$

$$RuCl_3 \cdot NO_{(浓)} + 2KCl = K_2RuCl_5 \cdot NO$$

$$RuCl_3 + 3KBr \xrightarrow{蒸发} \underset{(黑色)}{RuBr_3}\downarrow + 3KCl$$

$$RuCl_3 + 3KI \xrightarrow{煮沸} \underset{(黑色)}{RuI_3}\downarrow + 3KCl$$

$$2RuCl_3 + 12KCN \xrightarrow{共同熔化} 2K_4Ru(CN)_6 + 4KCl + Cl_2$$

$$RuCl_3 + 6KNO_2 = \underset{(橙黄色)}{K_3Ru(NO_2)_6} + 3KCl$$

$$RuCl_3 + 3NaHCO_3 \xrightarrow[加热煮沸]{pH=6} \underset{(黑色)}{Ru(OH)_3}\downarrow + 3NaCl + 3CO_2\downarrow$$

【RuCl$_4$】 $$2RuCl_4 + 2NH_2OH \cdot HCl = 2RuCl_3 + N_2 + 4HCl + 2H_2O$$

$$3RuCl_4 + 4KMnO_4 + 4H_2SO_4 = 3RuO_4 + 4MnSO_4 + 4KCl + 8HCl + 2O_2\uparrow$$

【RuBr$_3$】 $$RuBr_{3(浓)} + 2KBr_{(浓)} = \underset{(棕色)}{RuBr_3 \cdot 2KBr}\downarrow$$

$$RuBr_3 + 2RbBr = RuBr_3 \cdot 2RbBr\downarrow$$

$$RuBr_3 + 2CsBr = RuBr_3 \cdot 2CsBr\downarrow$$

$$RuBr_3 + 2NH_4Br = RuBr_3 \cdot 2NH_4Br\downarrow$$

【$Ru_2(SO_3)_3$】 $Ru_2(SO_3)_3 = Ru(SO_3)_2 + RuSO_3$

$$RuSO_3 + H_2SO_4 \xlongequal{0℃} RuS_2O_6 + H_2O$$

$$Ru_2(SO_3)_3 + 6HCl_{(浓)} \xlongequal{加热煮沸} 2RuCl_3 + 3SO_2 + 3H_2O$$

【其他含钌的化合物】

$$Ru(SO_4)_2 \xlongequal{\triangle} \underset{(蓝色)}{RuO_2}\downarrow + 2SO_3$$

$$2Ru(SO_4)_2 + 4SO_3 + 5H_2O = Ru_2(SO_3)_3 + 5H_2SO_4 + 2O_2\uparrow$$

$$Na_2RuCl_6 + \underbrace{4NaOH + 2NaOCl}_{(热的)} = RuO_4 + 8NaCl + 2H_2O$$

$$H_2RuBr_5 + 2KBr = K_2RuBr_5 + 2HBr$$

$$8RuS_2 + 8KClO_3 + 6HCl = 6RuO_4 + 2RuCl_3 + 8KCl + 3H_2S + 13S$$

$$3Na_2RuO_4 + NaClO_3 + 3H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} 3RuO_4 + 3Na_2SO_4 + NaCl + 3H_2O$$

$$[RuCl_5OH]^{2-} + 3H_2O = RuO_4 + 7H^+ + 5Cl^- + 4e^-$$

14.2　铑　$4d^8 5s^1$　Rh = 102.5099

【Rh】 $2Rh + 3F_2 \xlongequal{400℃} \underset{(红色)}{2RhF_3}$

$$2Rh + 3Cl_2 \xlongequal{250℃} \underset{(红色)}{2RhCl_3}$$

$$4Rh + 3O_2 \xrightarrow{600℃} 2Rh_2O_3$$
（黑色）

$$2Rh_{(细粉)} + 8CO \xrightarrow{\triangle} [Rh(CO)_4]_2$$
（橙色）

$$2Rh + 6NaCl + 3Cl_2 + 4H_2O = 2\{Na_3[RhCl_6]\cdot 2H_2O\}$$
（六氯合铑酸钠二水合物）

【RhO_2】 $RhO_2 + 2H_2 \xrightarrow{\triangle} Rh + 2H_2O$

$$RhO_2 + 2H_2O = RhO_2\cdot 2H_2O$$

$$RhO_2\cdot 2H_2O \xrightarrow{灼热} RhO_2 + 2H_2O$$

【$Rh(OH)_3$】 $Rh(OH)_3 + 3HCl = RhCl_3 + 3H_2O$

【$RhCl_3$】 $2[RhCl_3\cdot 3H_2O] + 6CO = [Rh_2(CO)_4Cl_2] + 6H_2O + 2COCl_2$
（氯化羰基铑）

$$RhCl_3 + 3KOH \xrightarrow{加乙醇} Rh(OH)_3\downarrow + 3KCl$$
（淡棕色）

$$2RhCl_3 + 3H_2S_{(气)} \xrightarrow{加HCl煮沸} Rh_2S_3\downarrow + 6HCl$$

$$RhCl_3 + 3NaCl = Na_3RhCl_6$$

$$2RhCl_3 + 3TiCl_2 = 2Rh\downarrow + 3TiCl_4$$

$$RhCl_3 + 6KCN = K_3Rh(CN)_6 + 3KCl$$

$$RhCl_3\cdot 5NH_3 + 6KCN = K_3Rh(CN)_6 + 3KCl + 5NH_3$$

$$2RhCl_3 + 6NaHCO_3 = Rh_2O_3\cdot 3H_2O\downarrow + 6NaCl + 6CO_2\uparrow$$
（黄色）

【$RhCl_4$】 $RhCl_4 + 4NaHCO_3 \xrightarrow{pH=6} RhO_2\cdot 2H_2O + 4NaCl + 4CO_2\uparrow$

【Na_3RhCl_6】　$[RhCl_6]^{3-} + 5NH_3 = [Rh(NH_3)_5Cl]^{2+} + 5Cl^-$

Na_3RhCl_6(浓) $+ 5NH_4OH \xlongequal{久置} RhCl_3 \cdot 5NH_3 \downarrow + 3NaCl + 5H_2O$

$2Na_3RhCl_6 + 8NaOH + Cl_2 = Rh_2O_3 \cdot 4H_2O \downarrow + NaOCl + 13NaCl$

$Na_3RhCl_6 + 3NaOH + H_2O \xlongequal{久置} Rh(OH)_3 \cdot H_2O \downarrow$(黄色) $+ 6NaCl$

$Rh(OH)_3 \cdot H_2O + 3NaOH \rightleftharpoons Na_3RhO_3 + 4H_2O$

$2Na_3RhCl_6 + 3H_2S \xlongequal{\triangle} Rh_2S_3 \downarrow$(黑色) $+ 6NaCl + 6HCl$

$Na_3RhCl_6 + 3H_2S \xlongequal{\triangle} Rh(SH)_3 \downarrow + 3HCl + 3NaCl$

$Na_3RhCl_6 + 3Na_2S = Na_3RhS_3 \downarrow + 6NaCl$

Na_3RhCl_6(温热) $+ 6NaNO_2 = Na_3Rh(NO_2)_6 + 6NaCl$

【其他含铑的化合物】

$(NH_4)_2RhCl_5 \cdot H_2O + 3Cl_2 = RhCl_3 + 8HCl + N_2 \uparrow + H_2O$

$K_3Rh(SO_4)_3 + 3KOH + H_2O = Rh(OH)_3 \cdot H_2O \downarrow$(黄色) $+ 3K_2SO_4$

$Rh(OH)_3 \cdot H_2O + 3KOH \rightleftharpoons K_3RhO_3 + 4H_2O$

14.3　钯　$4d^{10}$　Pd = 106.4

【Pd】　$Pd + Cl_2 \xlongequal{500℃} PdCl_2$(红色)

$$2Pd_{(细粉)} + O_{2(纯)} \xrightarrow{\triangle} 2PdO$$
(黑色)

$$Pd + SiO_2 + C_{(粉)} \xrightarrow{灼烧} PdSi + CO_2\uparrow$$

$$2Pd + 4KOH + O_2 \xrightarrow{\triangle} 2PdO + 2K_2O + 2H_2O$$

$$Pd_{(粉)} + 2HCl \xrightarrow{温热} PdCl_2 + H_2\uparrow$$

$$3Pd + 8HNO_3 \xrightarrow{温热} 3Pd(NO_3)_2 + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

$$Pd + 3HCl + HNO_3 = PdCl_2 + NOCl + 2H_2O$$

$$Pd + 2HNO_3 + 4HCl = H_2[PdCl_4] + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$
(四氯合钯酸)

$$Pd_{(很纯)} + HNO_3 + 3HBr = PdBr_2 + NOBr + 2H_2O$$

【PdO_2】 $PdO_2 + 4CO = Pd + 3CO_2 + C$

【Pd_2O_3】 $Pd_2O_3 + 6HCl \xrightarrow{以冰冷却} 2PdCl_3 + 3H_2O$

【$Pd(OH)_2$】 $Pd(OH)_2 + 2NaOH_{(浓液)} = Na_2[Pd(OH)_4]$

$$Pd(OH)_2 + 2HCl = PdCl_2 + 2H_2O$$

【$PdCl_2$】 $PdCl_2 + 2NH_3 = Pd(NH_3)_2Cl_2$

$$2PdCl_2 + 4NH_3 = PdCl_2\cdot Pd(NH_3)_4Cl_2\downarrow$$
(红色)

(所生沉淀溶于过量的NH_3)

$$PdCl_2 + Cl_2 + 2NH_4Cl \xrightarrow{振荡} (NH_4)_2PdCl_6\downarrow$$
(红色)

$$PdCl_2 + Cl_2 + 4NaOH \xrightarrow{热} PdO\cdot H_2O + NaOCl + 3NaCl + H_2O$$

$$PdCl_2 + CO + H_2O = CO_2\uparrow + 2HCl\uparrow + Pd\downarrow$$
(Pd沉淀使溶液变黑)

$$PdCl_2 + 2KOH = PdO + 2KCl + H_2O$$

$$PdCl_2 + H_2S \xrightarrow{\text{在酸性或中性溶液中}} PdS\downarrow + 2HCl$$

（黑色）

$$PdCl_2 + H_2SO_3 + H_2O = Pd\downarrow + 2HCl + H_2SO_4$$

$$PdCl_2 + Hg_2Cl_2\text{（固体）} \xrightarrow{\text{冷、振摇}} Pd\downarrow + 2HgCl_2$$

$$PdCl_2 + TiCl_2 = Pd\downarrow + TiCl_4$$

$$PdCl_2 + 2KI \xrightarrow{\text{酸性}} PdI_2\downarrow + 2KCl$$

（黑色）

（所生沉淀溶于过量的KI、生成棕色K_2PdI_4）

$$PdCl_2 + Hg(CN)_2 = HgCl_2 + Pd(CN)_2\downarrow$$

（淡黄色）

（所生沉淀难溶于稀H1C，易溶于KCN和氨水）

$$Pd(CN)_2 + 4O_2 \xrightarrow{\text{灼烧}} Pd + 2CO_2 + 2NO_2\uparrow$$

$$3PdCl_2 + NaBrO_3 + 6HCl \xrightarrow{\text{热}} 3PdCl_4 + NaBr + 3H_2O$$

$$PdCl_2 + 4Na_2SO_3 = PdSO_3\cdot[Na_2SO_3]_3\downarrow + 2NaCl$$

（浓缩后得沉淀）

$$2PdCl_2 + 4NaNO_3 \xrightarrow{\text{蒸发干燥灼烧}} 4NaCl + 2PdO + 4NO_2 + O_2\uparrow$$

$$4PdCl_2 + 4KNO_3\text{（过量）} + 4KOH \xrightarrow{\text{熔化}} 4PdO + 8KCl + 4NO_2 + O_2\uparrow + + 2H_2O$$

$$PdCl_2 + Na_2CO_3 + H_2O = Pd(OH)_2\downarrow + 2NaCl + CO_2\uparrow$$

（棕色）

（$Pd(OH)_2$沉淀溶于过量的Na_2CO_3）

$$PdCl_2 + 2NOC_{10}H_6OH = Pd(NOC_{10}H_6O)_2\downarrow + 2HCl$$

（α-亚硝基-β萘酚）　　（棕色）

（$NOC_{10}H_6OH$是饱和溶液，反应在50%的醋酸中进行）

【$PdCl_3$】 $$2PdCl_3 \xlongequal{\triangle} 2PdCl_2 + Cl_2$$

$$PdCl_3 + 2KCl \xlongequal{} \underset{(黄色)}{K_2PdCl_5}$$

$$2PdCl_3 + 3Na_2S_2O_4 \xlongequal{中性或酸性} 2Pd\downarrow + 6NaCl + 6SO_2\uparrow$$

$$2PdCl_3 + 6Na_2S_2O_4 \xlongequal{中性或酸性} Pd_2S_3\downarrow + 6NaCl + 3Na_2SO_4 + 6SO_2\uparrow$$

【$PdCl_4$】 $$2PdCl_4 \xlongequal{空中煮沸} 2PdCl_3 + Cl_2\uparrow$$

$$2PdCl_3 \xlongequal{煮沸} 2pdCl_2 + Cl_2\uparrow$$

$$PdCl_{4(沸)} + 4NaHCO_3 \xlongequal[溴酸钠参加下]{PH=6,振动} PdO_2\cdot 2H_2O\downarrow + 4NaCl + 4CO_2\uparrow$$

$$2PdCl_4 + C_2H_5OH \xlongequal{振动} 2PdCl_3 + 2HCl + CH_3CHO$$

【$Pd(NO_3)_2$】 $$2Pd(NO_3)_2 \xlongequal{120—130℃} 2PdO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$2Pd(NO_3)_2 + O_3 + 2H_2O \xlongequal{} Pd_2O_3 + O_2\uparrow + 4HNO_3$$

$$Pd(NO_3)_2 + 4NH_3 \xlongequal{} Pd(NO_3)_2\cdot(NH_3)_4$$

$$Pd(NO_3)_2 + 2H_2O \xlongequal{} PdO\cdot H_2O\downarrow + 2HNO_3$$

【其他含钯的化合物】

$$PdS + 2HCl \xlongequal{沸} PdCl_2 + H_2S\uparrow$$

$$Na_2PdCl_4 + 4NaNO_2 \xlongequal{温热} Na_2Pd(NO_2)_4 + 4NaCl$$

$$PdCl_2(NH_4Cl)_2 + 2K_2CrO_4 \xlongequal{} K_2Cr_2O_7 + 2KCl + PdCl_2 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$Pd(NH_3)_4Cl_2 + 2HCl \xlongequal{} \underset{(黄色)}{Pd(NH_3)_2Cl_2\downarrow} + 2NH_4Cl$$

$$Pd(NH_3O)_4(OH)_2 + 2HCl_{(稀)} = Pd(NH_3O)_2Cl_2\downarrow + 2NH_4OH + O_2$$
（黄色）

14.4 锇 $5d^6 6s^2$ Os = 190.2

【Os】 $$Os_{(粉)} + 4F_2 \xrightarrow{250℃} OsF_8$$
（无色）

$$2Os_{(粉)} + 3Cl_2 \xrightarrow{700℃以上} 2OsCl_3$$
（褐色晶体）

$$Os_{(粉)} + 2Cl_2 \xrightarrow{700℃以内} OsCl_4$$
（黑色晶体）

$$Os_{(细粉)} + 2O_2 \xrightarrow{\triangle} OsO_4$$
（淡黄色）

（常温下也可慢慢氧化）

【OsO_2】 $$2OsO_2 \xrightarrow[加热]{隔绝空气} OsO_4 + Os$$

【OsO_4】 $$OsO_4 + 9CO \xrightarrow[50大气压]{150—200℃} Os(CO)_5 + 4CO_2$$

$$OsO_4 + NH_3 + KOH_{(浓)} = K[NOsO_3] + 2H_2O$$
（锇氮酸钾）

$$2OsO_4 + 4KOH = 2K_2OsO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2OsO_4 + 4NaOH = 2Na_2OsO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2Na_2OsO_4 + 12HCl_{(浓)} \xrightarrow{煮沸} 2Na_2OsCl_6 + O_2\uparrow + 6H_2O$$

$$OsO_4 + 8HCl = OsCl_2 + 3Cl_2\uparrow + 4H_2O$$

$$OsO4 + 10HI = OsI_2 \cdot 2HI + 3I_2 + 4H_2O$$

$$OsO_4 + 8HCl + 2KCl = K_2OsCl_6 + 2Cl_2\uparrow + 4H_2O$$

【$Os(OH)_4$】 $Os(OH)_4 \xlongequal{100℃} OsO_2 + 2H_2O$

【H_2OsO_4】 $H_2OsO_4 + 4HI_{(浓)} \xlongequal{加热18小时} \underset{(黑色)}{OsI_4}\downarrow + [O] + 3H_2O$

$2H_2OsO_{4(干燥)} + 4H_2S_{(干燥)} = \underset{(棕色)}{(OsSO)_2 \cdot H_2O}\downarrow + 2S + 5H_2O$

【$OsCl_3$】 $2OsCl_3 \xlongequal{在真空中加热至500℃} 2OsCl_2 + Cl_2$

$2OsCl_3 + 6CO \xlongequal{270℃} \underset{(白色粉末)}{2OsCl_2(CO)_3} + Cl_2\uparrow$

【K_2OsCl_6】 $K_2OsCl_6 + H_2 = \underset{(黑蓝色)}{OsCl_2} + 2KCl + 2HCl$

$K_2OsCl_6 + 4KOH = \underset{(红棕色)}{Os(OH)_4}\downarrow + 6KCl$

$K_2OsCl_6 + 2H_2S_{(气)} = \underset{(淡棕黑色)}{OsS_2}\downarrow + 4HCl + 2KCl$

【Na_2OsBr_6】 $Na_2OsBr_6 + 2KBr = K_2OsBr_6\downarrow + 2NaBr$

$Na_2OsBr_6 + 2NH_4Br = (NH_4)_2OsBr_6\downarrow + 2NaBr$

$Na_2OsBr_6 + 2AgNO_3 = Ag_2OsBr_6\downarrow + 2NaNO_3$

【Na_2OsCl_6】 $OsCl_6^{2-} + 4H_2O = OsO_4 + 8H^+ + 6Cl^- + 4e^-$

$Na_2OsCl_6 + 2KCl = K_2OsCl_6\downarrow + 2NaCl$

$Na_2OsCl_6 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2OsCl_6\downarrow + 2NaCl$

【其他含锇的化合物】

$OsF_8 + 4H_2O = OsO_4 + 8HF$

$Os_2O_3(SH)_2 + 2H_2S_{(干燥)} \xlongequal{\triangle} 2OsS_2\downarrow + 3H_2O$

$(NH_4)_2OsCl_{6(沸)} + 2NaHCO_{3(10\%)} \xlongequal{pH=1.5至4} OsO_2\downarrow + 2NaCl + 2HCl + 2NH_4Cl + 2CO_2\uparrow$

14.5 铱 $5d^7 6s^2$ Ir = 192.22

【Ir】 $Ir + 3F_2 \xlongequal{\triangle} IrF_6$（黄色晶体）

$2Ir + 3Cl_2 \xlongequal{600℃} 2IrCl_3$（灰绿色晶体）

$Ir + 3Cl_2 \xlongequal{360—400℃} IrCl_6$（淡黄色固体）

$2Ir + Cl_2 \xlongequal{773—798℃} 2IrCl$

$Ir + 2Cl_2 \xlongequal{低红热，加KCl} IrCl_4$

$Ir + O_2 \xlongequal{\triangle} IrO_2$（黑色粉末）

$Ir + 2NaCl + 2Cl_2 \xlongequal[进行反应]{在燃烧管内} Na_2[IrCl_6]$（可溶）

【Ir_2O_3】 $2Ir_2O_3 \xlongequal{\triangle} 3IrO_2 + Ir$

$Ir_2O_3 + 3H_2SO_4(稀) = Ir_2(SO_4)_3\downarrow + 3H_2O$（在真空中结晶）

【IrF_6】 $IrF_6 + Cl_2 = IrF_4 + 2ClF$

$2IrF_6 + 10H_2O = 2Ir(OH)_4 + 12HF + O_2$

【$IrCl_3$】 $2IrCl_3 \xlongequal{763—773℃} 2IrCl_2 + Cl_2$

$IrCl_3 + 3NH_4OH(浓、沸) = Ir(NH_3)_3Cl_3 + 3H_2O$

$IrCl_3 + 4NH_4OH(浓、沸) = Ir(NH_3)_4Cl_3 + 4H_2O$

$IrCl_3 + 5NH_4OH(浓、沸) = Ir(NH_3)_5Cl_3 + 5H_2O$

$2IrCl_3 + 3H_2S = Ir_2S_3 + 6HCl$

$$6IrCl_{3(热)} + 6HCl + NaBrO_3 \xlongequal{\triangle} 6IrCl_4 + NaBr + 3H_2O$$

$$2IrCl_3 + 6KNO_2 \xlongequal{\triangle} \underset{(淡黄色粉末)}{K_3Ir(NO_2)_6 \cdot K_3IrCl_6}$$

$$IrCl_3 + 4NaNO_2 + NH_4Cl = NH_4Ir(NO_2)_4\downarrow + 4NaCl$$

$$2IrCl_3 + 6NaHCO_3 = \underset{胶态}{Ir_2O_3 \cdot H_2O}\downarrow + 6NaCl + 6CO_2\uparrow + 2H_2O$$

【$IrCl_4$】

$$IrCl_{4(热)} + Cl_2 + 6NaOH = Ir(OH)_4\downarrow + NaOCl + 5NaCl + H_2O$$

$$IrCl_4 + 2Zn \xlongequal{加酸} 2ZnCl_2 + Ir\downarrow$$

$$Ir + 4HCl + 2KCl = K_2IrCl_6 + 2H_2\uparrow$$

$$2IrCl_4 + 2NaOH = 2IrCl_3 + NaCl + NaOCl + H_2O$$

$$IrCl_4 + 2H_2S_{(气)} \xlongequal[20\%浓盐酸中]{沸点} IrS_2\downarrow + 4HCl$$

$$IrCl_4 + 2NH_4Cl = \underset{(黑红色)}{(NH_4)_2IrCl_6}\downarrow$$

$$IrCl_4 + KNO_2 \xlongequal{\triangle} IrCl_3 + KCl + NO_2\uparrow$$

$$IrCl_{4(沸)} + 4NaHCO_3 \xlongequal{pH=4—6} \underset{(深绿色)}{IrO_2 \cdot 2H_2O}\downarrow + 4NaCl + 4CO_2\uparrow$$

【Na_2IrCl_6】 $$2Na_2IrCl_6 + H_2S_{(气)} = 2IrCl_3 + S\downarrow + 4NaCl + 2HCl$$

$$2Na_2IrCl_{6(浓、热)} + 2NaCl + 2KOH = 2Na_3IrCl_6 + KOCl + KCl + H_2O$$

$$2Na_3IrCl_6 + 6KOH = Ir_2O_3 + 6KCl + 6NaCl + 3H_2O$$

$$Na_2IrCl_6 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2IrCl_6\downarrow + 2NaCl$$

（黑红色）

$$Na_2IrCl_6 + 5KNO_2 = IrCl_2(NO_2)_4K_3\downarrow + 2NaCl + 2KCl + NO_2\uparrow$$

$$2Na_2IrCl_6 + 2Na_2C_2O_4 = 2Na_3IrCl_4(C_2O_4) + 2NaCl + Cl_2\uparrow$$

【Na_3IrCl_6】

$$2Na_3IrCl_6 + 6KOH = Ir_2O_3 + 6KCl + 6NaCl + 3H_2O$$

$$Ir_2O_3 + [O] = 2IrO_2$$

$$2Na_3IrCl_6 + 6Ba(OH)_2 = Ba_3[Ir(OH)_6]_2 + 3BaCl_2 + 6NaCl$$

$$Ba_3[Ir(OH)_6]_2 + 6H_2SO_4 = Ir_2(SO_4)_3 + 3BaSO_4\downarrow + 12H_2O$$

$$Ir_2(SO_4)_3 + 12NaNO_2 = 3Na_2SO_4 + 2Na_3Ir(NO_2)_6$$

$$Na_3IrCl_6 + 4NaNO_2 \xlongequal{\triangle} Na_3IrCl_2(NO_2)_4 + 4NaCl$$

【K_2IrCl_6】

$$2K_2IrCl_6 + H_2C_2O_4 + 2H_2O \xlongequal{\text{蒸发、干燥}} 2K_2(H_2O)IrCl_5 + 2HCl + 2CO_2\uparrow$$

$$2K_2IrCl_6 + 2KI = 2K_3IrCl_6 + I_2$$

$$K_2IrCl_6 + 6KCN = K_2Ir(CN)_6 + 6KCl$$

$$K_2IrCl_6 + KNO_2 \xlongequal{\triangle} K_3IrCl_6 + NO_2\uparrow$$

（绿色）

【K_3IrCl_6】

$$K_3IrCl_6 + H_2O = K_2(H_2O)IrCl_5 + KCl$$

（$(NH_4)_3IrCl_6$也有类似的反应）

$$2K_3IrCl_6 + 6KNO_2(\text{过量}) \xrightarrow{\text{煮沸}} K_3Ir(NO_2)_6 \cdot K_3IrCl_6\downarrow + 6KCl$$

$$K_3IrCl_6 + 3K_2C_2O_4 \xrightarrow{\text{在中性溶液中}} K_3Ir(C_2O_4)_3 + 6KCl$$

【$(NH_4)_2IrCl_6$】 $$2(NH_4)_2IrCl_6(\text{浓}) + 2H_2SO_4 \xrightarrow{100℃} 2(NH_4)IrCl_6 + SO_2 + (NH_4)_2SO_4 + 2H_2O$$

【Li_2IrCl_6】 $$2Li_2IrCl_6 + Li_2C_2O_4 \xrightarrow{\triangle} \underset{(\text{黑色结晶})}{2Li_3IrCl_6}\downarrow + 2CO_2\uparrow$$

【其他含铱的化合物】

$$H_2IrCl_6 \xrightarrow{\triangle} HIrCl_4 + HCl + [Cl]$$

$$H_3Ir(C_2O_4)_3 + 2H_2O = HIr(H_2O)_2 \cdot 2C_2O_4 + H_2C_2O_4$$

$$Ag_2IrCl_6 + 2HCl \xrightarrow{\triangle} H_2IrCl_6 + 2AgCl$$

$$Ag_3Ir(C_2O_4)_3 + 3HCl = H_3Ir(C_2O_4)_3 + 3AgCl$$

$$K_3Ir(C_2O_4)_3 + 3AgNO_3 + 3H_2O \xrightarrow{150℃} \underset{(\text{绿黄色晶体})}{Ag_3Ir(C_2O_4)_3 \cdot 3H_2O}\downarrow + 3KNO_3$$

14.6 铂 $5d^8 6s^1$ Pt = 195.09

【Pt】 $$Pt + 2F_2 \xrightarrow{\text{灼烧}} \underset{(\text{黄褐色})}{PtF_4}(\text{或}PtF_2)$$

$$Pt + 3F_2 + O_2 = O_2^+[PtF_6]^-$$

(O_2^+叫二氧基)

$$2Pt + Cl_2 \xrightarrow{581—583℃} 2PtCl$$

$$2Pt + 3Cl_2 \xlongequal{400℃} 2PtCl_3$$

$$Pt_{(粉)} + Cl_2 \xlongequal{250℃} PtCl_2$$

（在300℃左右生成$PtCl_4$）

$$Pt + O_2 \xlongequal[加热]{150大气压} PtO_2$$

$$2Pt_{(粉)} + O_2 \xlongequal{8大气压,430℃} 2PtO$$

（黑色）

$$Pt_{(粉)} + S_{(粉)} \xlongequal{\triangle} PtS$$

$$Pt + 4H_2SO_{4(浓)} \xlongequal[加热至338℃]{在密封容器中} Pt(SO_4)_2 + 2SO_2\uparrow + 4H_2O$$

$$3Pt + 16HNO_{3(稀)} = 3Pt(NO_3)_4 + 4NO\uparrow + 8H_2O$$

$$3Pt + 4HNO_3 + 18HCl = 3H_2PtCl_6 + 4NO\uparrow + 8H_2O$$

（氯氯铂酸）

$$Pt + 6HCl + 4HNO_3 = H_2PtCl_6 \cdot xH_2O + 4NO_2\uparrow + (4-x)H_2O$$

$$Pt + 6HCl + 2HNO_3 = PtCl_4 + 2NOCl + 4H_2O$$

$$Pt + 6KCN + 4H_2O = K_2Pt(CN)_6 + 4KOH + 2H_2\uparrow$$

（LiCN亦有类似的反应）

注： 以Pt做电极，电解$Ba(CN)_2$溶液时的反应：

$$\underset{(电极)}{Pt} + 2Ba(CN)_2 + 2H_2O \xlongequal[电解]{50-60℃} BaPt(CN)_4 + Ba(OH)_2 + H_2\uparrow$$

【PtO】 $2PtO \xlongequal{红热} 2Pt + O_2\uparrow$

【$Pt(OH)_4$】 $Pt(OH)_4 + 2NaOH = Na_2[Pt(OH)_6]$

$$Pt(OH)_4 + 6HCl = H_2[PtCl_6] + 4H_2O$$

【$PtCl_2$】 $PtCl_2 + 2NH_3 = Pt(NH_3)_2Cl_2$

$$PtCl_2 + 2KOH = Pt(OH)_2\downarrow + 2KCl$$

$$PtCl_2 + 2HCl = H_2PtCl_4$$

$$2PtCl_2 + 2HCl = H_2PtCl_6 + Pt$$

$$PtCl_2 + 4HCN_{(气)} + 2BaCO_{3(新鲜的)} + 2H_2O = \underset{(金黄色结晶)}{BaPt(CN)_4\cdot 4H_2O} + BaCl_2 + 2CO_2\uparrow$$

$$PtCl_2 + 2KCl = K_2[PtCl_4]$$

$$PtCl_2 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2PtCl_4$$

$$PtCl_2 + BaCl_2 + xH_2O \xlongequal{加HCl} PtCl_2\cdot BaCl_2\cdot xH_2O$$

$$PtCl_2\cdot 2KCl + 2AgNO_3 = \underset{(淡红色粉末)}{PtCl_2\cdot 2AgCl\downarrow} + 2KNO_3$$

【$PtCl_3$】 $2PtCl_3 + 4Cl^- = [PtCl_6]^{2-} + [PtCl_4]^{2-}$

$$[PtCl_4]^{2-} + H_2S = PtS + 2H^+ + 4Cl^-$$

【$PtCl_4$】 $PtCl_4 \xlongequal{\triangle} Pt + 2Cl_2\uparrow$

$$PtCl_4 + 2H_2 = 4HCl + Pt$$

$$PtCl_4 + I_2 = PtCl_2 + 2ICl$$

$$PtCl_4 + 2Zn = 2ZnCl_2 + Pt\downarrow$$

$$PtCl_4 + 2H_2O = [PtCl_4(OH)_2]^{2-} + 2H^+$$

$$PtCl_4 + 4KOH_{(过量)} = Pt(OH)_4 + 4KCl$$

$$PtCl_4 + 6NaOH_{(过量)} = Na_2PtO_3 + 4NaCl + 3H_2O$$

$$Na_2PtO_3 + 2CH_3COOH + 3H_2O = PtO_2\cdot 4H_2O + 2CH_3COONa$$

$$PtCl_4 + Ba(OH)_{2(过量)} + 5H_2O \xlongequal{煮沸} BaPtO_3\cdot 4H_2O + 4HCl$$

$$PtCl_4\cdot(HCl)_2 + 12NH_2OH \xrightarrow[\text{再冷却}]{\text{煮沸}} \underset{\text{(结晶)}}{Pt(NH_2OH)_4(OH)_2} + 6[NH_2OH\cdot HCl] + N_2\uparrow$$

$$PtCl_4 + 2HCl = H_2PtCl_6$$

（反应在标准状态下进行）

$$PtCl_4 + 4HI = PtI_4 + 4HCl$$

$$PtCl_4 + 6HI_{(过量)} = PtI_4(HI)_2 + 4HCl$$

$$PtCl_4 + 5XeF_2 = PtF_6 + 4ClF + 5Xe$$

$$PtCl_4 + 2KCl = K_2[PtCl_6]\downarrow$$

（其他碱金属盐、铵盐与$PtCl_4$均有类似的反应）

$$PtCl_4 + 2NaCl = Na_2PtCl_6$$

$$PtCl_4 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2PtCl_6$$

$$PtCl_{4(浓)} + PbCl_2 \xrightarrow{\text{蒸发}} \underset{\text{(结晶)}}{PbPtCl_6}\downarrow$$

$$PtCl_4 + 6LiCN = Li_2Pt(CN)_4 + 4LiCl + (CN)_2$$

$$2PtCl_4 + 2AgNO_3 = PtCl_2 + 2AgCl\downarrow + 2Cl_2\uparrow + Pt(NO_3)_2$$

$$PtCl_4 + 3Na_2CO_{3(过量)} \xrightarrow[\text{蒸发}]{\text{共煮}} Na_2PtO_3 + 4NaCl + 3CO_2\uparrow$$

$$Na_2PtO_3 + 2CH_3COOH + H_2O = PtO_2\cdot 2H_2O + 2CH_3COONa$$

$$PtCl_4 + 2C_2H_5OH \xrightarrow{\text{在真空中蒸发}} PtCl_4\cdot 2C_2H_5OH$$

【PtI_4】　$PtI_4 + 2HI_{(稀)} + 9H_2O = \underset{\text{(棕色)}}{H_2PtI_6\cdot 9H_2O}$

$$PtI_4 + 2KI_{(稀)} = K_2PtI_6$$

注：PtI_4能与NH_4^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Mn^{2+}、Zn^{2+}、Co^{2+}、Ni^{2+}、Fe^{2+}等亦生成带结晶水的复盐。

【H_2PtCl_6】 $H_2PtCl_6 + 3Zn = Pt\downarrow + 3ZnCl_2 + H_2\uparrow$

（Al、Mg、Cd有类似的反应）

$$H_2PtCl_6 + 5Ba(OH)_2 + 4HCN + SO_2 \xlongequal{\triangle} BaPt(CN)_4 + 3BaCl_2 + BaSO_4\downarrow + 8H_2O$$

$$H_2PtCl_6 + 2H_2S \xlongequal{温热} PtS_2\downarrow + 6HCl$$

（黑棕色）

（PtS_2沉淀不溶于HNO_3，而溶于王水中）

$$H_2PtCl_6 + 2KCl = K_2[PtCl_6]\downarrow + 2HCl$$

（黄色）

$$H_2PtCl_6 + 2NH_4Cl = (NH_4)_2[PtCl_6]\downarrow + 2HCl$$

（黄色）

$$2H_2PtCl_6 + 2FeCl_3 + 21H_2O = (FeCl_3)_2\cdot(PtCl_4)_2\cdot 21H_2O + 4HCl$$

（黄色、蒸发后结晶）

（同理，H_2PtCl_6与Cr^{3+}、In^{3+}、Sn^{4+}、Zn^{2+}的盐作用也有类似的反应）

$$H_2PtCl_6 + K_2SO_4 \xlongequal{加HCl} K_2PtCl_6\downarrow + H_2SO_4$$

（黄色结晶）

$$H_2PtCl_6 + 2AgNO_3 = Ag_2PtCl_6\downarrow + 2HNO_3$$

（Ag_2PtCl_6沉淀难溶于氨溶液，可溶于KCN、碱金属的硫代硫酸盐溶液中）

$$2H_2PtCl_6 + 3AgNO_3 = PtCl_4\cdot 2AgCl\downarrow + AgCl\downarrow + PtCl_4 + 3HNO_3 + HCl$$

$$H_2PtCl_6 + Li_2CO_3 = Li_2PtCl_6 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$H_2PtCl_6 + Na_2CO_3 = Na_2PtCl_6 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$H_2PtCl_6 + Na_2CO_3 = Na_2[PtCl_6] + CO_2 + H_2O$$

$$H_2PtCl_6\cdot xH_2O + 5C_2H_4(NH_2)_2 = \{Pt[C_2H_4(NH_2)_2]_3\}Cl_4 + 2[C_2H_4(NH_2)_2\cdot HCl] + xH_2O$$

【H_2PtCl_4】 $H_2PtCl_4 + CaCl_2 + 8H_2O = CaCl_2 \cdot PtCl_2 \cdot 8H_2O + 2HCl$

（许多二价金属盐与H_2PtCl_4有类似的反应）

【K_2PtCl_6】 $K_2PtCl_6 \xlongequal{\text{灼烧}} 2KCl + 2Cl_2 + Pt$

$K_2PtCl_6 + 2Mg \xlongequal{\text{加HCl、加热}} 2MgCl_2 + 2KCl + Pt$

$K_2PtCl_6 + 2Hg \xlongequal{\text{共研磨}} 2HgCl_2 + 2KCl + Pt$

$K_2PtCl_6 + H_2O = K_2PtOHCl_5 + HCl$

$K_2PtCl_6 + 4KOH = Pt(OH)_2\downarrow + 5KCl + KOCl + H_2O$

$K_2PtCl_{6(\text{稀})} + Na_2S_2O_4 = K_2PtCl_4 + 2NaCl + 2SO_2$

（此反应后得深黄色溶液）

$K_2PtCl_4 + 2Na_2S_2O_4 \xlongequal{\triangle} 2NaCl + 2KCl + Na_2SO_4 + 2SO_2\uparrow + Pt\downarrow + S$

$K_2PtCl_6 + K_2C_2O_4 = K_2[PtCl_4] + 2KCl + 2CO_2\uparrow$

$K_2PtCl_6 + CH_3CHO + H_2O = K_2PtCl_4 + CH_3COOH + 2HCl$

$K_2PtCl_6 + [COOK]_2 \xlongequal{\text{Pt催化}} K_2PtCl_4 + 2KCl + 2CO_2$

【Na_2PtCl_6】 $Na_2PtCl_6 \xlongequal{\text{加无水乙醇}} 2NaCl + PtCl_4$

$PtCl_6^{2-} + 2H_2S = PtS_2\downarrow + 4H^+ + 6Cl^-$

$Na_2PtCl_6 + 2HCOOH \xlongequal{\text{在中性溶液中}} 2NaCl + 4HCl + 2CO_2\uparrow + Pt\downarrow$

$PtCl_6^{2-} + 6I^- \rightleftharpoons PtI_6^{2-} + 6Cl^-$

$PtCl_6^{2-} + 2K^+_{(\text{浓})} \rightleftharpoons K_2PtCl_6\downarrow$

（黄色结晶）

$Na_2PtCl_6 + 2NaCOOH = 4NaCl + 2HCl + 2CO_2\uparrow + Pt\downarrow$

【$(NH_4)_2PtCl_6$】

$$(NH_4)_2PtCl_6 \xlongequal{灼烧} 2Cl_2\uparrow + 2NH_4Cl + Pt$$
$$\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad\quad \llcorner\!\rightarrow 2NH_3\uparrow + 2HCl\uparrow$$

$$3(NH_4)_2PtCl_6 \xlongequal{灼烧} 2NH_4Cl + 16HCl\uparrow + 2N_2\uparrow + 3Pt$$
$$\llcorner\!\rightarrow 2NH_3\uparrow + 2HCl\uparrow$$

$$(NH_4)_2PtCl_6 + 2H_2O \xlongequal{光} H_2PtCl_6 + 2NH_4OH$$

$$(NH_4)_2PtCl_6 + 2NaOH = Na_2PtCl_6 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$(NH_4)_2PtCl_6 + (NH_4)_2C_2O_4 = \underset{(氯亚铂酸铵)}{(NH_4)_2PtCl_4} + 2NH_4Cl + 2CO_2\uparrow$$

$$(NH_4)_2PtCl_6 + N_2H_4\cdot 2HCl + 6NH_3 = 8NH_4Cl + N_2\uparrow + Pt\downarrow$$

【K_2PtCl_4】 $K_2PtCl_4 \xrightarrow{NH_3} [Pt(NH_3)Cl_3]^- \xrightarrow{NH_3} [Pt(NH_3)_2Cl_2]$

$$K_2PtCl_{4(温热)} + 4KCN_{(微过量)} = K_2Pt(CN)_4 + 4KCl$$

$$K_2PtCl_4 + 4KNO_2 \xlongequal{温热} \underset{(亚硝基合亚铂酸钾)}{K_2[Pt(NO_2)_4]} + 4KCl$$

$$K_2PtCl_4 + 4NH_2OH = Pt(NH_2OH)_4Cl_2 + 2KCl$$

$$K_2PtCl_4 + 2Na_2S_2O_4 = 2NaCl + 2KCl + Na_2SO_4 + 2SO_2 + Pt + S$$

【$H_2Pt(CN)_4$】 $2H_2Pt(CN)_{4(浓)} + H_2O_2 \xlongequal{蒸发} \underset{(绿色)}{2HPt(CN)_4\downarrow} + 2H_2O$

$$H_2Pt(CN)_4 + 2LiOH = Li_2Pt(CN)_4 + 2H_2O$$

$$H_2Pt(CN)_4 + CuCl_2 \xlongequal{} \underset{\text{(蓝绿色)}}{CuPt(CN)_4}\downarrow + 2HCl$$

$$H_2Pt(CN)_4 + ZnSO_4 \xlongequal{} \underset{\text{(白色)}}{ZnPt(CN)_4}\downarrow + H_2SO_4$$

$$H_2Pt(CN)_4 + 2AgNO_3 \xlongequal{} \underset{\text{(白色)}}{Ag_2Pt(CN)_4}\downarrow + 2HNO_3$$

【$HPt(CN)_4$】 $HPt(CN)_4 \xlongequal{\triangle} Pt(CN)_3\downarrow + HCN$

$$2HPt(CN)_4 + SO_2 + H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} 2H_2Pt(CN)_4 + SO_3$$

$$2HPt(CN)_{4(\text{浓})} + CuCl_2 \xlongequal{} Cu[Pt(CN)_4]_2 + 2HCl$$

$$2HPt(CN)_4 + 2KI \xlongequal{} 2KHPt(CN)_4 + I_2$$

$$HPt(CN)_4 + AgNO_3 \xlongequal{} \underset{\text{(淡棕色)}}{AgPt(CN)_4}\downarrow + HNO_3$$

【$K_2Pt(CN)_4$】 $8K_2Pt(CN)_{4(\text{浓})} + H_2O_2 + H_2SO_4 + 10H_2O$

$$\xlongequal{} K_2SO_4 + 2[K_2Pt(CN)_4]_3 \cdot KPt(CN)_4 \cdot 6H_2O$$

$$8K_2Pt(CN)_{4(\text{浓})} + Na_2O_2 + 2H_2SO_{4(\text{过量})} + 10H_2O$$

$$\xlongequal{} 2[K_2Pt(CN)_4]_3 \cdot KPt(CN)_4 \cdot 6H_2O + K_2SO_4 + Na_2SO_4$$

$$10K_2Pt(CN)_{4(\text{浓})} + MnO_2 + 2H_2SO_4 \xlongequal{\triangle}$$

$$9K_2Pt(CN)_4 + MnSO_4 + K_2Pt(CN)_4SO_4 + 2H_2O$$

$$10K_2Pt(CN)_{4(\text{浓})} + PbO_2 + 2H_2SO_4 \xlongequal{\triangle}$$

$$9K_2Pt(CN)_4 + PbSO_4 + K_2Pt(CN)_4SO_4 + 2H_2O$$

$$K_2Pt(CN)_4 + ZnSO_4 \xlongequal{} ZnPt(CN)_4\downarrow + K_2SO_4$$

$$K_2Pt(CN)_4 + CuSO_4 \xlongequal{} CuPt(CN)_4\downarrow + K_2SO_4$$

【其他含铂的化合物】

$$Pt(NO_3)_4 \xlongequal{\triangle} PtO_2 + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$Pt(NO_2)_2 + 4HCl + 2NH_4Cl \xlongequal{\triangle} (NH_4)_2PtCl_6 + 2NO\uparrow + 2H_2O$$

$$PtS_2 + 2O_2 \xlongequal{\text{灼烧}} 2SO_2\uparrow + Pt$$

$$Pt(CN)_3 + KCN \xlongequal{\text{沸}} KPt(CN)_4\text{(可溶)}$$

$$ZnPt(CN)_4 + 6H_2SO_4 + 2H_2O \xlongequal{\text{灼烧}} ZnSO_4 + 3SO_2\uparrow + 4CO_2\uparrow + 2(NH_4)_2SO_4 + Pt\downarrow$$

$$BaPt(CN)_4 + Li_2SO_4 \xlongequal{} Li_2Pt(CN)_4 + BaSO_4\downarrow$$

$$Pt(NH_3)_4I_2 + H_2SO_4\text{(浓)} \xlongequal{} Pt(NH_3)_4SO_4 + 2HI$$

$$Pt(NH_3)_2(NO_2)_2 + 4HCl\text{(浓)} \xlongequal{\text{沸}} Pt(NH_3)_2Cl_4 + 2NO + 2H_2O$$

$$[Pt(NH_3)_4]Cl_2 \xrightarrow{HCl} [Pt(NH_3)_3Cl] \xrightarrow{HCl} [Pt(NH_3)_2Cl_2]$$

(淡黄色)

$$[Pt(NH_2OH)_4](OH)_2 + 3H_2O_2 \xlongequal{} H_2[Pt(OH)_6] + 2N_2 + 6H_2O$$

(氢氧化四羟氨合亚铂)　　(六氢氧基合铂酸)

第十五章 碱 金 属

15.1 锂 $2s^1$ Li = 6.941

【Li】 $2Li_{(熔化)} + H_2 \xlongequal{700—800℃} 2LiH$

$2Li + Cl_2 \xlongequal{燃烧} 2LiCl$

$4Li + O_2 \xlongequal{燃烧} 2Li_2O$

$4Li + O_2 + 2CO_2 \xlongequal{} 2Li_2CO_3$
（Li在空气中的变化）

$2Li + S \xlongequal{燃烧} Li_2S$

$6Li + N_2 \xlongequal{250℃} 2Li_3N \xlongequal{6H_2O} 6Li + 6OH^- + 2NH_3$
（常温时，反应很慢）

$3Li + P \xlongequal{} Li_3P$

$2Li + 2C \xlongequal{熔融} Li_2C_2$

$2Li + 2Si \xlongequal{熔融} Li_2Si_2$

$2Li + 2NH_{3(液态或气态)} \xlongequal[\triangle]{Fe或FeCl_3催化} 2LiNH_2 + H_2\uparrow$

$2Li + 2H_2O \xlongequal{} 2LiOH + H_2\uparrow$
（此反应平稳）

$2Li + 2CO_{(气流)} \xlongequal{} Li_2C_2 + O_2\uparrow$

$2Li + 2CO_{2(气流)} \xlongequal{} Li_2C_2 + 2O_2\uparrow$

$$2Li + 2H_2S_{(干气)} \xrightarrow{在乙醚表面} 2LiHS + H_2\uparrow$$

$$2Li + 2HCl = 2LiCl + H_2\uparrow$$

$$2Li + 2HCN_{(无水)} \xrightarrow{在乙醚或苯溶液中} 2LiCN + H_2\uparrow$$

$$2Li + H_2SO_{4(稀)} = Li_2SO_4 + H_2\uparrow$$

$$2Li + 2H^+ = 2Li^+ + H_2\uparrow$$

（是Li与无氧化性酸的反应）

【LiH】 $LiH + NH_3 = LiNH_2 + H_2\uparrow$

$$2LiH + B_2H_6 = 2LiBH_4$$

$$LiH + H_2O = LiOH + H_2\uparrow$$

$$LiH_{(红、热)} + HCl_{(气)} = LiCl + H_2\uparrow$$

$$2LiH + BeCl_2 \xrightarrow{在乙醚中} BeH_2 + 2LiCl$$

$$4LiH + AlCl_{3(无水)} \xrightarrow{在乙醚中} Li[AlH_4] + 3LiCl$$

【Li_2O】 $2Li_2O + Si \xrightarrow{高温} 4Li + SiO_2 - 76.3千卡$

$$3Li_2O + 2Al \xrightarrow{高温} 6Li + Al_2O_3 - 33.6千卡$$

$$2Li_2O + 2CaO + Si \xrightarrow{高温} 4Li + SiO_2\cdot 2CaO$$

$$3Li_2O + 2CaO + 2Al \xrightarrow{\triangle} 6Li + 2CaO\cdot Al_2O_3$$

$$Li_2O + H_2O = 2LiOH$$

（反应较慢）

$$Li_2O + 2H^+ = 2Li^+ + H_2O$$

【LiOH】 $2LiOH \xrightarrow[热至600℃]{隔绝空气} Li_2O + H_2O$

$$LiOH + H_2O \xrightarrow{冷却} LiOH\cdot H_2O$$

$$2LiOH + 2H_2O_2 + H_2O = Li_2O_2\cdot H_2O_2\cdot 3H_2O$$

（把过氧化氢和乙醇加至氢氧化锂溶液中）

$$LiOH + HCN \xrightarrow[冷处，剧振]{无水乙醚中} LiCN + H_2O$$

$$LiOH_{(过量)} + HClO_4 = LiClO_4 + H_2O$$

$$LiOH + HIO_3 = LiIO_3 \cdot H_2O$$

（针状结晶）

$$LiOH + H_3PO_3 \xlongequal{加至甲基橙变色} LiH_2PO_3 + H_2O$$

$$LiOH + H_3PO_4 = LiH_2PO_4 + H_2O$$

$$2LiOH_{(浓)} + H_3PO_4 = Li_2HPO_4 + 2H_2O$$

$$3LiOH_{(过量)} + H_3PO_4 = Li_3PO_4 \cdot H_2O + 2H_2O$$

（在16℃时干燥）

$$6LiOH_{(过量)} + 2H_3PO_4 = (Li_3PO_4)_2 \cdot H_2O + 5H_2O$$

（在60℃时干燥）

$$2LiOH + H_4SiO_{4(干)} \xlongequal{80℃} Li_2SiO_3 \cdot H_2O + 2H_2O$$

$$LiOH_{(过饱和)} + HBO_2 + 7H_2O = LiBO_2 \cdot 8H_2O_{(结晶)}$$

$$4LiOH + H_4Fe(CN)_{6(浓)} = Li_4Fe(CN)_6 + 4H_2O$$

$$LiOH + C_6H_5OH + H_2O \xlongequal{25℃} C_6H_5OLi \cdot 2H_2O$$

（固体）

【LiF】 $$2LiF + CaO \xlongequal{熔融} CaF_2 + Li_2O$$

$$2LiF_{(红热)} + 2HCl_{(气)} = 2LiCl + 2HF$$

$$2LiF + 2HClO_4 + 6H_2O = 2[LiClO_4 \cdot 3H_2O] + 2HF$$

$$2LiF + 2HNO_3 + H_2O \xlongequal{29.6℃} (LiNO_3)_2 \cdot H_2O + 2HF$$

$$2LiF + Na_2CO_3 \xlongequal{熔融} Li_2CO_3 + 2NaF$$

【LiCl】 $$2LiCl + 2Na + 2CH_3CH_2OH_{(无水)} = 2CH_3CH_2OLi + 2NaCl\downarrow + H_2\uparrow$$

$$2LiCl + H_2SO_4 \xlongequal{共蒸发} Li_2SO_4 + 2HCl$$

$$2LiCl + H_2C_2O_4 = Li_2C_2O_4 + 2HCl$$

$$LiCl + NH_4F \xrightarrow{\text{在氨性溶液中}} LiF\downarrow + NH_4Cl$$

$$LiCl_{(\text{细粉})} + CaCl_{2(\text{细粉})} \overset{\triangle}{=\!=} LiCl\cdot CaCl_2$$
（复盐）

$$2LiCl + ZnCl_2 + 2H_2O = (LiCl)_2\cdot ZnCl_2\cdot 2H_2O$$
（柱形晶体）

$$LiCl + 2CdCl_2 + 7H_2O \xrightarrow{\text{浓缩}} (CdCl_2)_2\cdot LiCl\cdot 7H_2O$$
（白色针状结晶）

$$LiCl + 2PbCl_2 = LiCl\cdot 2PbCl_2$$

$$LiCl + CuCl_2 + 2H_2O \overset{\triangle}{=\!=} CuCl_2\cdot LiCl\cdot 2H_2O$$
（暗红色结晶）

$$LiCl + AgNO_2 = LiNO_2 + AgCl\downarrow$$
（Ca^{2+}、Sr^{2+}、Ba^{2+}的氯化物亦有类似的反应）

$$4LiCl + 2Na_2PO_3 + 7H_2O = (Li_2PO_3)_2\cdot 7H_2O + 4NaCl$$

$$3LiCl + Na_2HPO_4 = Li_3PO_4\downarrow + 2NaCl + HCl$$
（蒸发至干燥）

$$3LiCl + Na_2HPO_4 + NaOH = Li_3PO_4\downarrow + 3NaCl + H_2O$$

$$4LiCl + Na_4P_2O_7 + 2H_2O = Li_4P_2O_7\cdot 2H_2O + 4NaCl$$

$$2LiCl_{(\text{浓})} + Na_2CO_3 = Li_2CO_3\downarrow + 2NaCl$$
（$(NH_4)_2CO_3$也可以发生类似的反应）

$$3LiCl + Ag_3Fe(CN)_6 = Li_3Fe(CN)_6 + 3AgCl\downarrow$$
（橙色）

（产物在水溶液上浓缩）

【LiCN】 $LiCN + H_2O_{(\text{空气中})} = LiOH + HCN$

$$LiCN + AgCN = LiAg(CN)_2$$

$$LiCN + AgNO_3 = LiNO_3 + AgCN\downarrow$$

【Li_2S】　$Li_2S + 2H_2O_{(气)} \xlongequal{微热} 2LiOH + H_2S\uparrow$

$Li_2S + H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{} Li_2SO_4 + H_2S\uparrow$

$Li_2S + 4HNO_{3(浓)} \xlongequal{} 2LiNO_3 + S + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$

【$LiClO_4$】　$2LiClO_4 + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{共蒸发} Li_2SO_4 + 2HClO_4$

$LiClO_4 + NH_4Cl \xlongequal{} LiCl + NH_4ClO_4$

【Li_2SO_4】　$Li_2SO_4 + H_2O \xlongequal{浓缩} Li_2SO_4\cdot H_2O$

$Li_2SO_4 + 7H_2O \xlongequal{} Li_2SO_4\cdot 7H_2O$

$Li_2SO_4 + Ba(OH)_2 \xlongequal{} 2LiOH + BaSO_4\downarrow$

$Li_2SO_4 + HCl \xlongequal{} LiHSO_4 + LiCl$

$Li_2SO_4 + 2HCl_{(过量)} \xlongequal{} 2LiCl + H_2SO_4$

$Li_2SO_4 + H_2SO_4 \xlongequal{蒸发} \underset{(结晶)}{2LiHSO_4}$

$Li_2SO_4 + H_2SO_4 \xlongequal{-20℃电解} Li_2S_2O_8 + H_2$

$Li_2SO_4 + BaCl_2 \xlongequal{} 2LiCl + BaSO_4\downarrow$

$Li_2SO_{4(饱和)} + Ba(ClO_2)_2 \xlongequal{真空蒸发} 2LiClO_2 + BaSO_4\downarrow$

$Li_2SO_4 + Ba(BrO_3)_2 \xlongequal{} 2LiBrO_3 + BaSO_4\downarrow$

$4Li_2SO_4 + K_2SO_4 + 5H_2O \xlongequal{} K_2Li_8(SO_4)_5\cdot 5H_2O$

$Li_2SO_4 + K_4SO_4 \xlongequal[或20℃，60℃]{98℃} \underset{(复盐)}{Li_2SO_4\cdot K_2SO_4}$

$4Li_2SO_4 + Na_2SO_4 + 5H_2O \xlongequal{28℃}$

$(Li_2SO_4)_4\cdot Na_2SO_4\cdot 5H_2O$

$Li_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 \xlongequal[或20℃,57℃]{97℃} Li_2SO_4\cdot(NH_4)_2SO_4$

$3Li_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 4H_2SO_4 \xlongequal{}$

$(NH_4)_2SO_4\cdot(Li_2SO_4)_3\cdot 4H_2SO_4$

$$Li_2SO_4 + Ba(NO_2)_2 \xlongequal{\triangle} 2LiNO_2 + BaSO_4\downarrow$$

$$2Li_2SO_4 + Na_4P_2O_7\cdot 10H_2O = Li_4P_2O_7\cdot 8H_2O + 2Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$Li_2SO_4 + K_2CO_3 \xlongequal{煮沸} Li_2CO_3\downarrow + K_2SO_4$$

$$Li_2SO_4 + Ba(MnO_4)_2 = 2LiMnO_4 + BaSO_4\downarrow$$

【$LiNO_3$】 $2LiNO_3 \xlongequal{600℃} Li_2O + NO_2\uparrow + NO\uparrow + O_2\uparrow$

$$4LiNO_3 \xlongequal{700℃} 2Li_2O + 2N_2O_4 + O_2\uparrow$$

$$3LiNO_3 + Na_2HPO_4 = Li_3PO_4 + 2NaNO_3 + HNO_3$$

$$2LiNO_3 + (NH_4)_2CO_{3(热、浓)} = Li_2CO_3 + 2NH_4NO_3$$

【Li_2CO_3】 $Li_2CO_3 + 4C \xlongequal{高温} Li_2C_2 + 3CO$

$$Li_2CO_3 + H_2O + CO_2 = 2LiHCO_3$$

$$Li_2CO_3 + Ca(OH)_2 = 2LiOH + CaCO_3\downarrow$$

$$Li_2CO_3 + H_2S_{(气)} = Li_2S\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Li_2CO_{3(红、热)} + 2H_2S_{(气)} = 2LiHS + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Li_2CO_3 + 2HClO_4 + 5H_2O = 2[LiClO_4\cdot 3H_2O]\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$Li_2CO_3 + 2HIO_3 = 2LiIO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$2Li_2CO_3 + 2HIO_4 + 2H_2O \xlongequal[蒸发]{温热} \underset{(结晶)}{Li_4I_2O_9\cdot 3H_2O}\downarrow + 2CO_2\uparrow$$

$$Li_2CO_3 + 2HIO_4 = \underset{(结晶)}{(LiIO_4)_2\cdot H_2O} + CO_2\uparrow$$

（反应产物在干燥器中蒸发得晶体）

$$Li_2CO_3 + H_2S_2O_8 \xlongequal{} \underset{\text{(红色结晶)}}{Li_2S_2O_8} + CO_2\uparrow + H_2O$$

(反应产物在真空中蒸发结晶)

$$Li_2CO_3 + 2HNO_3 \xlongequal{} 2LiNO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Li_2CO_3 + H_3PO_3 \xlongequal{\text{在水浴上加热}} Li_2HPO_3\cdot H_2O + CO_2\uparrow$$

$$2Li_2CO_3 + 2H_2PO_3\text{(过量)} + 5H_2O \xlongequal{} \underset{\text{(结晶)}}{(Li_2PO_3)_2\cdot 7H_2O} + 2CO_2\uparrow$$

$$Li_2CO_3 + 2H_2PO_3 + H_2O \xlongequal{} 2\underset{\text{(结晶)}}{[LiHPO_3\cdot H_2O]} + CO_2\uparrow$$

$$3Li_2CO_3 + 2H_3PO_4 \xlongequal{} 2Li_3PO_4 + 3H_2CO_3$$

$$Li_2CO_3 + \underset{\text{(用}CO_2\text{饱和溶液)}}{H_2CO_3} \xlongequal{} 2LiHCO_3$$

$$Li_2CO_3 + 2HBO_2 + 15H_2O \xlongequal{} 2[LiBO_2\cdot 8H_2O] + CO_2\uparrow$$

$$Li_2CO_3 + 4H_3BO_3 \xlongequal{\text{共煮沸}} Li_2B_4O_7\cdot 5H_2O + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$Li_2CO_3 + H_2C_2O_4 \xlongequal{\text{饱和后冷却}} \underset{\text{(结晶)}}{Li_2C_2O_4} + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Li_2CO_3 + BaS_2O_3 + 3H_2O \xlongequal{\text{水浴上加热}} Li_2S_2O_3\cdot 3H_2O + BaCO_3$$

$$Li_2CO_3 + K_2CO_3 \xlongequal{515℃} 2LiKCO_3$$

$$2Li_2CO_3 + 2K_2Cr_2O_7 \xlongequal{\text{在真空中蒸发}} (K_2CrO_4)_2\cdot(Li_2CrO_4)_2 + 2CO_2\uparrow$$

$$2Li_2CO_3\text{(固)} + H_4[Fe(CN)_6]\text{(浓)} + 4H_2O \xlongequal{} Li_4[Fe(CN)_6]\cdot 6H_2O + 2CO_2\uparrow$$

【Li_3PO_4】 $2Li_3PO_4 + 3Ba(OH)_2 = 6LiOH + Ba_3(PO_4)_2 \downarrow$

$Li_3PO_4 + 2HCl = LiH_2PO_4 + 2LiCl$

$Li_3PO_4 + 2NH_4Cl = LiH_2PO_4 + 2LiCl + 2NH_3$

【Li_2HPO_4】 $Li_2HPO_4 + HCl = LiH_2PO_4 + LiCl$

【CH_3CO_2Li】 $3CH_3COOLi + H_3PO_4 = Li_3PO_4 \downarrow + 3CH_3COOH$

$2CH_3COOLi + 8H_3BO_3 \xrightarrow[\text{煮沸}]{\text{在}H_2SO_4\text{上蒸发}} Li_2B_8O_8 \cdot 10H_2O \downarrow + 2CH_3COOH + H_2O + 5O_2 \uparrow$

$3CH_3COOLi + (NH_4)_3PO_4 = Li_3PO_4 \downarrow + 3CH_3COONH_4$

【$Li_2O \cdot Al_2O_3 4SiO_2$】

$\underset{\text{(锂辉石)}}{Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2} + 4CaCO_3 + 2NH_4Cl \xlongequal{\text{烧结}} 2LiCl + 4CaSiO_3 + Al_2O_3 + 4CO_2 \uparrow + 2NH_3 \uparrow + H_2O$

$Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 + CaCl_2 + 3CaCO_3 \xlongequal{\text{烧结}} 2LiCl + 4CaSiO_3 + Al_2O_3 + 3CO_2 \uparrow$

【$LiAl(SiO_3)_2$】 $2LiAl(SiO_3)_2 + H_2SO_4 = 2HAl(SiO_3)_2 + Li_2SO_4$

$2LiAl(SiO_3)_2 + K_2SO_4 \xlongequal{\text{高温烧结}} Li_2SO_4 + 2KAl(SiO_3)_2$

【其他含锂的化合物】

$2LiNH_2 = Li_2NH + NH_3$

（在真空中加热至熔点）（亚氨基化锂）

$LiHS_{(\text{溶液})} + HCl = LiCl + H_2S \uparrow$

$(LiHS)_2 \cdot C_2H_5OH + 2HCl = 2H_2S + 2LiCl + C_2H_5OH$

$$Li_3N + 3H_2O = 3LiOH + NH_3\uparrow$$

$$Li_2C_2 + 2H_2O = 2LiOH + C_2H_2\uparrow$$

$$Li_6Si_2 + 2H_2SO_4(浓) = H_2S + 3Li_2O + 2SiO_2 + S\downarrow + H_2O$$

$$2LiBH_4 + 2HCl(气) \xlongequal{-80℃} 2LiCl + B_2H_6 + 2H_2$$

$$LiAlH_4 + 4CH_3CHO + 4H_2O = 4CH_3CH_2OH + LiOH + Al(OH)_3\downarrow$$

$$Li[AlH_4] + 4H_2O = LiOH + Al(OH)_3\downarrow + 4H_2\uparrow$$

$$2LiIO_3 \cdot H_2O + H_2SO_4 = Li_2SO_4 + 2HIO_3 \cdot H_2O$$

$$2Li_2SO_3 + K_2CO_3 + H_2O \xlongequal[再冰冻]{蒸至糖浆状} \underset{(结晶)}{2KLiSO_3 \cdot H_2O} + Li_2CO_3$$

（产物蒸发冷却得结晶）

$$7Li_2MoO_4 + 8HNO_3(滴加) = Li_6Mo_7O_{24} + 8LiNO_3 + 4H_2O$$

$$Li_2CrO_4(高浓度) + PbCrO_4(新鲜) \xlongequal[加热至140℃]{在封闭试管中} Li_2CrO_4 \cdot PbCrO_4$$

$$Li_2Cr_2O_7 + 2HIO_3 + H_2O \xlongequal[(浓缩)]{微过量铬酸} Li_2 \cdot Cr_2O_7 \cdot I_2O_5 \cdot 2H_2O$$

$$Li_2C_2O_4 + H_2C_2O_4 = 2LiHC_2O_4$$

$$Li(NH_4)_2PO_4 + 2HCl = LiH_2PO_4 + 2NH_4Cl$$

$$Li_4[Fe(CN)_6] + 2CdSO_4 = Cd_2[Fe(CN)_6]\downarrow + 2Li_2SO_4$$

15.2 钠 $3s^1$ Na＝22.9898

【Na】 $2Na + H_2 \xlongequal{300℃} 2NaH$

$4Na + O_2$（适量）$\xlongequal{180—200℃} 2Na_2O$

（常温时，缓慢氧化）

$2Na + O_2$（过量）$\xlongequal{燃烧300—400℃} Na_2O_2$

（Na在空气或氧气中燃烧时的反应）

$2Na + S \xlongequal{研磨} Na_2S$

（发生爆炸性反应）

$2Na$（热甲苯溶液）$+ 3S = Na_2S_3$

$3Na + P = Na_3P$

$4Na + Pb \xlongequal{熔化} Na_4Pb$

$4Na + Pb + 4C_2H_5Cl = 4NaCl + (C_2H_5)_4Pb$

$2Na + 2NH_3$（气）$\xlongequal[\triangle]{Fe或FeCl_3催化} 2NaNH_2 + H_2\uparrow$

（纯Na与液态NH_3作用无H_2放出）

$2Na + 2H_2O = 2NaOH + H_2\uparrow$

$4Na + 2CO_2 + O_2 = 2Na_2CO_3$

$2Na + SiO_2$（纯）$+ 2H_2CO_3 \xlongequal{\triangle} H_2C_2O_4 + Na_2SiO_3 + H_2O$

$2Na + Na_2O_2 = 2Na_2O$

$3Na + 2KOH$（固）$\xlongequal{在真空中稍加热} 2NaOH + NaK_2$

$2Na + KOH$（固）$\xlongequal[加热]{在真空中} NaOH + NaK$

$2Na + 2NaOH \xlongequal[无水，450℃]{NaH触媒} 2Na_2O + H_2\uparrow$

$$2Na + 2HCl_{(浓)} \xlongequal{} 2NaCl + H_2\uparrow$$

$$2Na + 2HI \xlongequal{0℃} 2NaI + H_2\uparrow$$

$$2Na + 2H^+_{(无氧化性的酸)} \xlongequal{} 2Na^+ + H_2\uparrow$$

$$Na + KF \underset{}{\overset{熔化状态下}{\rightleftharpoons}} NaF + K$$

$$3Na + AlCl_3 \xlongequal{熔融} 3NaCl + Al$$

$$2Na + 2NH_4I \xlongequal{} 2NaI + 2NH_3\uparrow + H_2\uparrow$$

$$6Na + SnI_2 \xlongequal{在液态NH_3中} Na_4Sn + 2NaI$$

$$6Na + PbI_2 \xlongequal{氨溶液中} Na_4Pb + 2NaI$$

$$Na + AgI \xlongequal{液态氨} Ag\downarrow + NaI$$

$$9Na + 4Zn(CN)_2 \xlongequal{在液态NH_3中} NaZn_4\downarrow + 8NaCN$$

$$3Na + Hg(CN)_2 \xlongequal{氨溶液} NaHg + 2NaCN$$

$$3NaHg + Hg(CN)_2 \xlongequal{} NaHg_2 + 2NaCN + 2Hg$$

$$2Na + K_4[Fe(CN)_6] \xlongequal{} Fe + 4KCN + 2NaCN$$

$$2Na + Na_2S_2O_{3(固)} \xlongequal{} Na_2S + Na_2SO_3$$

$$2Na + Na_2S_4O_6 \xlongequal{} 2Na_2S_2O_3$$

$$2Na + 2NaNO_{2(固)} \xlongequal{\triangle} 4Na_2O + N_2\uparrow$$

$$4Na + Na_2CO_3 \xlongequal{红热} 3Na_2O + C$$

$$2Na + 2C_2H_5OH_{(无水)} \xlongequal{} 2C_2H_5ONa + H_2\uparrow$$

$$2Na + 2HC\equiv CH \xlongequal{110℃} 2HC\equiv CNa + H_2\uparrow$$

【NaH】 $NaH + NH_3 \xlongequal{} NaNH_2 + H_2\uparrow$

$$NaH + H_2O \xlongequal{} NaOH + H_2\uparrow$$

$$2NaH + 2SO_2 \xlongequal{过量氢存在下} Na_2S_2O_4 + H_2\uparrow$$

$$NaH + CO_2 \xlongequal{} HCOONa$$

$$NaH + HCl = NaCl + H_2\uparrow$$

$$4NaH + TiCl_4 = 4NaCl + Ti + 2H_2\uparrow$$

【Na_2O】　$$2Na_2O + O_2 \xlongequal{300—400℃} 2Na_2O_2$$ （淡黄色）

（使用不含CO_2的干燥空气与Na作用。Na_2O暴露在空气中也会继续氧化生成Na_2O_2。）

$$Na_2O + H_2O = 2NaOH$$

$$2Na_2O + CO \xlongequal{290—310℃} Na_2CO_3 + 2Na$$

$$Na_2O + CO_2 = Na_2CO_3$$

$$3Na_2O + 2H_3PO_4 = 2Na_3PO_4 + 3H_2O$$

$$Na_2O + 2H^+ = 2Na^+ + H_2O$$

【Na_2O_2】　$$Na_2O_2 + O_2 \xlongequal[\text{在密闭容器内加压}]{500℃,300P} 2NaO_2$$ （超氧化钠）

$$Na_2O_2 + CO = Na_2CO_3 + 119\text{千卡}$$

$$3Na_2O_2 + 2CO_2 = 2Na_2CO_3 + 2O_2$$

（用作防毒面具和潜艇中紧急时供氧）

$$Na_2O_2 + 2KO_2 + 2CO_2 = Na_2CO_3 + K_2CO_3 + 2O_2\uparrow + 98\text{千卡}$$

$$5Na_2O_2 + Cr_2O_3 + 6KHSO_4 = 2Na_2CrO_4 + 3K_2SO_4 + 3Na_2SO_4 + O_2\uparrow + 3H_2O$$

$$2Na_2O_2 + 2H_2O = 4NaOH + O_2\uparrow$$

取得e×2（还原）

即 $$2Na—\overset{-1}{O}—\overset{-1}{O}—Na + 2H_2O = 4NaO\overset{-2}{H} + O_2$$

失去e×2（氧化）

$$Na_2O_2 + 2H_2O \xlongequal{冷水} H_2O_2 + 2NaOH$$

$$2Na_2O_2 + 2H_2O \xlongequal{氧化钴触媒} 4NaOH + O_2\uparrow$$

$$Na_2O_2 + H_2O + O_3 = 2NaOH + 2O_2\uparrow$$

$$Na_2O_2 + 2H_2O + 2CO_2 = 2NaHCO_3 + H_2O_2$$

$$Na_2O_2 + 2HCl = 2NaCl + H_2O_2$$

$$2Na_2O_2 + 2H_2SO_4(\text{稀}) = 2Na_2SO_4 + 2H_2O_2$$

$$H_2O_2 \downarrow 2H_2O + 2[O]$$

$$Na_2O_2 + H_2SO_4 + 10H_2O \xlongequal{\text{冰}} Na_2SO_4\cdot 10H_2O + H_2O_2$$

$$4Na_2O_2 + S^{2-} + 4H_2O = SO_4^{2-} + 8Na^+ + 8OH^-$$

$$2Na_2O_2 + 2SOCl_2 = 2NaCl + Na_2SO_4 + SO_2Cl_2$$

$$Na_2O_2 + C_2H_5OH = C_2H_5ONa + NaOOH$$

（冷却到0℃）

$$2NaOOH = 2NaOH + O_2$$

（极易进行的反应）

【NaO_2】 $2NaO_2 + 2H_2O = 2NaOH + H_2O_2 + O_2\uparrow$

$$4NaO_2 + 2CO_2 = 2Na_2CO_3 + 3O_2\uparrow$$

$$2NaO_2 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O_2 + O_2\uparrow$$

【NaO_3】 $2NaO_3 = 2NaO_2 + O_2\uparrow$

【NaOH】 $4NaOH \xlongequal[295-315℃]{\text{电解}} 4Na + 2H_2O + O_2\uparrow$

（阴极） （阳极）

$$2NaOH + X_2 \xlongequal{\triangle} NaX + NaOX + H_2O$$

$(X_2 = Cl_2$、Br_2、$I_2)$

$$6NaOH(\text{固}) + 2C \xlongequal[\text{加热至1000℃}]{\text{隔绝空气}} 2Na_2CO_3 + 2Na + 3H_2\uparrow$$

$$NaOH(\text{熔融}) + 2Na = Na_2O + NaH$$

$$2NaOH + H_2O_2 = Na_2O_2 + 2H_2O$$

$$Na_2O_2 + 2H_2O_2 + 4H_2O \xlongequal{\text{在真空中浓缩}} Na_2O_2\cdot(H_2O_2)_2\cdot 4H_2O\downarrow$$

$$2NaOH + SO_2 = Na_2SO_3 + H_2O$$

$$NaOH + SO_{2}(过量) = NaHSO_3$$

$$2NaOH + 2SO_2 \xlongequal{在过量H_2存在下} Na_2S_2O_6 + H_2\uparrow$$

$$6NaOH + 4SO_2 + 2H_2S = 3Na_2S_2O_3 + 5H_2O$$

$$NaOH + SO_2 + CH_3OH + I_2 = CH_3HSO_4 + NaI + HI$$

$$2NaOH + SO_3 = Na_2SO_4 + H_2O$$

$$4NaOH(固) + 6NO \xlongequal{\triangle} 4NaNO_2 + N_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2NaOH(固) + 4NO \xlongequal{常温} 2NaNO_2 + N_2O + H_2O$$

$$NaOH(固) + NH_4OH(固) = NaOH + NH_3 + H_2O$$

$$NaOH + HCl = NaCl + H_2O$$

$$NaOH + HI = NaI + H_2O$$

$$NaOH + H_2S = NaHS + H_2O$$

$$2NaOH + H_2S(过量) = Na_2S + 2H_2O$$

$$NaOH(少量) + H_2SO_4 = NaHSO_4 + H_2O$$

$$2NaOH(足量) + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2H_2O$$

$$NaOH + HNO_3 = NaNO_3 + H_2O$$

$$NaOH + NH_4Cl = NaCl + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$2NaOH(固) + MSiO_3(固) \xlongequal{高温} Na_2SiO_3 + M(OH)_2$$

$$M(OH)_2 \rightarrow MO + H_2O$$

(M表示碱土金属元素)

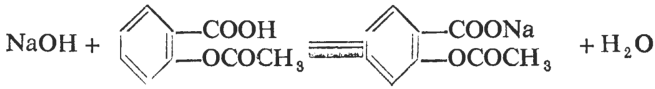
$$NaOH + NaCOOH \xlongequal{275℃} Na_2CO_3 + H_2\uparrow$$

$$2NaOH + Na_2C_2O_4 \xlongequal{290℃} 2Na_2CO_3 + H_2\uparrow$$

$$NaOH + C_6H_5OH = C_6H_5ONa + H_2O$$

(苯酚)　(苯酚钠)

$$3NaOH + (C_{17}H_{35}COO)_3C_3H_5 \xlongequal{\triangle} C_3H_5(OH)_3 + 3C_{17}H_{35}COONa$$



(乙酰水杨酸 阿斯匹林)

【NaF】 $$12NaF + Al_2(SO_4)_3 \xlongequal{共熔} 3Na_2SO_4 + 2Na_3AlF_6$$

（冰晶石）

【NaCl】 $$2NaCl_{(熔融)} \xlongequal[600°-650℃]{电解} 2Na + Cl_2\uparrow$$

（工业上制取钠的原理）

$$2NaCl_{(浓)} + 2H_2O \xlongequal{电解} \underbrace{2NaOH + H_2\uparrow}_{(阴极区)} + \underset{(阳极区)}{Cl_2\uparrow}$$

（食盐水电解反应）

$$2NaCl_{(干燥)} + 4SO_{3(干燥)} \xlongequal{共热} S_2O_5Cl_2 + Na_2S_2O_7$$

$$4NaCl + 2SO_3 + O_2 \xlongequal{\triangle} 2Na_2SO_4\downarrow + 2Cl_2\uparrow$$

$$2NaCl_{(稀液)} + 5PbO + H_2O = (PbO)_4 \cdot PbCl_2 + 2NaOH$$

$$2NaCl_{(工业上)} + 4PbO + H_2O = (PbO)_3 \cdot PbCl_2 + 2NaOH$$

$$NaCl_{(固)} + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{微热} NaHSO_4 + HCl\uparrow$$

$$+)\ NaCl_{(固)} + NaHSO_4 \xlongequal{500℃以上} Na_2SO_4 + HCl\uparrow$$

$$2NaCl_{(固)} + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{500-600℃} Na_2SO_4 + 2HCl\uparrow$$

$$2NaCl_{(固)} + 2H_2SO_{4(浓)} + MnO_2 \xlongequal{\triangle} Na_2SO_4 + MnSO_4 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3NaCl + 4HNO_3 = 3NaNO_3 + NOCl + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2NaCl + CuSO_4 \rightleftharpoons CuCl_2 + Na_2SO_4$$

$$3NaCl + NaNO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{300℃} NOCl + 4NaHSO_4 + Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

$$NaCl + AgNO_3 = AgCl\downarrow + NaNO_3$$

注： 在含有氨的NaCl饱和溶液中通入CO_2时，则发生下反应：

$$NaCl_{(饱和)} + NH_4HCO_3 \rightleftharpoons NaHCO_3\downarrow + NH_4Cl$$

即$NaCl + NH_3 + CO_2 + H_2O = NaHCO_3\downarrow + NH_4Cl$

$$NaCl + KH_2SbO_4 \xlongequal{中性或弱碱性} \underset{(白色)}{NaH_2SbO_4\downarrow} + KCl$$

$$2NaCl + \underset{(焦锑酸二氢钾)}{K_2H_2Sb_2O_7} = \underset{(白色)}{Na_2H_2Sb_2O_7\downarrow} + 2KCl$$

（检验钠盐的方法之一）

$$NaCl_{(浓)} + 3UO_2(C_2H_3O_2)_2 + Mg(C_2H_3O_2)_2 + HC_2H_3O_2 = \underset{(醋酸铀酰镁钠，黄色)}{NaMg(UO_2)_3(C_2H_3O_2)_9} + HCl$$

【NaBr】 $2NaBr + MnO_2 + 2H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Na_2SO_4 + MnSO_4 + Br_2\uparrow + 2H_2O$（主要反应）

$$2NaBr + MnO_2 + 3H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} 2NaHSO_4 + MnSO_4 + Br_2\uparrow + 2H_2O$$

$$4NaBr + MnO_2 + 3H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} 2NaHSO_4 + Na_2SO_4 + MnBr_2 + 2H_2O$$

$$2NaBr + PbO_2 + 4CH_3COOH = Pb(CH_3COO)_2 + 2NaCH_3COO + Br_2 + 2H_2O$$

$$2NaBr_{(固)} + H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{\triangle} Na_2SO_4 + 2HBr\uparrow$$

$$2NaBr_{(固)} + 2H_2SO_{4(浓)} = 2NaHSO_4 + 2HBr\uparrow$$

$$+)\quad 2HBr_{(气)} + H_2SO_{4(浓)} = SO_2\uparrow + Br_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2NaBr_{(固)} + 3H_2SO_{4(浓)} = 2NaHSO_4 + SO_2\uparrow + Br_2\uparrow + 2H_2O$$

（制取溴的反应）

$$NaBr_{(固)} + H_3PO_{4(浓)} = NaH_2PO_4 + HBr\uparrow$$

$$3NaBr_{(固)} + H_3PO_{4(浓)} = Na_3PO_4 + 3HBr\uparrow$$

$$NaBr + NaOBr + 2HCl = 2NaCl + Br_2 + H_2O$$

$$5NaBr + NaBrO_3 + 6HCl = 6NaCl + 3Br_2 + 3H_2O$$

$$5NaBr + NaBrO_3 + 3H_2SO_4 = 3Na_2SO_4 + 3Br_2 + 3H_2O$$

【NaI】 $2NaI + H_2O_2 + 2CO_2 = 2NaHCO_3 + I_2$

$$2NaI(2\%) + COCl_2 = 2NaCl + CO + I_2$$

（溶于无水丙酮）

$$NaI + HCl = NaCl + HI$$

$$2NaI + HOCl = NaCl + NaOH + I_2$$

$$NaI + 3NaIO_4 = 4NaIO_3$$

$$2NaI + 3NaIO_4 + 3H_2O = NaIO_3 + 2Na_2H_3IO_6 + I_2$$

$$NaI + H_3SbO_4 = NaH_2SbO_4\downarrow + HI$$

（白色结晶，溶于酸）

$$NaH_2SbO_4 + HCl = H_3SbO_4 + NaCl$$

$$H_3SbO_4 \rightarrow HSbO_3\downarrow + H_2O$$

（白色）

【NaCN】 $NaCN + Br_2 = NaBr + CNBr$

（与Cl_2作用有类似的反应）

$$6NaCN + Fe + 2H_2O \xrightarrow{\triangle} Na_4[Fe(CN)_6] + 2NaOH + H_2\uparrow$$

$$NaCN + H_2O \xrightarrow[减压]{35℃} NaOH + HCN$$

$$2NaCN + CO_2 + H_2O \xlongequal{75℃} Na_2CO_3 + 2HCN\uparrow$$

$$6NaCN + Fe(OH)_2 \xlongequal{} Na_4[Fe(CN)_6] + 2NaOH$$

$$2NaCN + CuSO_{4(细粉)} \xlongequal{\triangle} (CN)_2\uparrow + Na_2SO_4 + Cu\downarrow$$

【NaOCN】 $NaOCN + 2H_2O \xlongequal{加热低于沸点} NaHCO_3 + NH_3\uparrow$

$$NaOCN + NH_3 + CO_2 + H_2O \xlongequal{} NaHCO_3 + NH_4OCN$$

$$NH_4OCN \xlongequal{} NH_2CONH_2$$

【NaSCN】 $NaSCN + 2SO_{2(液态)} \xlongequal{} \underset{(亮黄色)}{NaSCN\cdot 2SO_2}$

【Na_2S】 $2Na_2S + O_{2(空气)} + 2H_2O \xlongequal{} 4NaOH + 2S\downarrow$

$$2Na_2S + 2O_2 + H_2O \xlongequal{} Na_2S_2O_3 + 2NaOH$$

$$Na_2S + H_2O \rightleftharpoons NaHS + NaOH$$

（溶液呈碱性）

$$NaHS + H_2O \rightleftharpoons H_2S + NaOH$$

总之：$M_2S + H_2O \rightleftharpoons 2M^+ + HS^- + OH^-$

（M为碱金属元素）

即：$S^{2-} + H_2O \rightleftharpoons HS^- + OH^-$

$$Na_2S + I_2 \xlongequal{} 2NaI + S$$

$$Na_2S + S \xlongequal{煮沸} Na_2S_2$$

$$Na_2S + (x-1)S \xlongequal{} Na_2S_x$$

$$2Na_2S + 4SO_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{} 3Na_2S_2O_3 + CO_2\uparrow$$

$$Na_2S + Ca(OH)_2 \xlongequal{\triangle} 2NaOH + CaS$$

$$Na_2S + 2HCl \xlongequal{} 2NaCl + H_2S$$

$$Na_2S + H_2SO_{4(稀)} \xlongequal{} Na_2SO_4 + H_2S\uparrow$$

$$Na_2S + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{} Na_2SO_4 + SO_2\uparrow + S\downarrow + 2H_2O$$

$$3Na_2S + 8HNO_3 \xlongequal{} 6NaNO_3 + 2NO\uparrow + 3S\downarrow + 4H_2O$$

$$Na_2S + 2CuS \xlongequal{\triangle} Cu_2S + Na_2S_2$$

$$Na_2S + CaC_2 \xlongequal{\triangle} CaS + 2Na + 2C$$

$$Na_2S + CdSO_4 \xlongequal{} CdS\downarrow + Na_2SO_4$$

$$Na_2S + NaNO_3 + 2H_2O \xlongequal{290°F} Na_2SO_4 + NaOH + NH_3\uparrow$$

$$5Na_2S + 8NaNO_3 + 4H_2O \xlongequal{310°F} 5Na_2SO_4 + 8NaOH + 4N_2\uparrow$$

$$Na_2S + Pb(NO_3)_2 \xlongequal{} 2NaNO_3 + PbS\downarrow$$

$$Na_2S + 2CaCO_3 \xlongequal{高温} Na_2CO_3 + CaS + CaO + CO_2\uparrow$$

【Na_2S_2】 $2Na_2S_2 + 3O_2 \xlongequal{} 2Na_2S_2O_3$

$$2Na_2S_2 + 3O_2 + 10H_2O \xlongequal{} 2[Na_2S_2O_3\cdot 5H_2O]$$

$$Na_2S_2 + 7H_2O_2 + 2NaOH \xlongequal{} 2Na_2SO_4 + 8H_2O$$

$$Na_2S_2 + 2HCl \xlongequal{} 2NaCl + H_2S\uparrow + S\downarrow$$

$$Na_2S_2 + SnS \xlongequal{} Na_2SnS_3$$

$$Na_2S_2 + Na_2SO_3 \xlongequal{} Na_2S_2O_3 + Na_2S$$

$$2Na_2S_2 + 6NaHSO_3 \xlongequal{} 5Na_2S_2O_3 + 3H_2O$$

$$Na_2S_2 + KCN \xlongequal{} Na_2S + KSCN$$

【Na_2S_3】 $Na_2S_3 + 10H_2O_2 + 4NaOH \xlongequal{} 3Na_2SO_4 + 12H_2O$

【Na_2S_4】 $Na_2S_4 + 13H_2O_2 + 6NaOH \xlongequal{} 4Na_2SO_4 + 16H_2O$

【Na_2S_5】 $2Na_2S_5 + 3O_2 \xlongequal{} 2Na_2S_2O_3 + 6S\downarrow$

【NaHS】 $4NaHS + O_2 \xlongequal{} 2Na_2S_2 + 2H_2O$

$$NaHS + CO_2 + H_2O \xlongequal{} NaHCO_3 + H_2S\uparrow$$

$$2NaHS + CO_2 + H_2O \xlongequal{} Na_2CO_3 + 2H_2S\uparrow$$

【Na_2CS_4】 $Na_2CS_4 \xlongequal{} Na_2S_2 + CS_2$

$$2Na_2CS_4 + 3SO_2 \xlongequal{} 2Na_2S_2O_3 + 2CS_2 + 3S\downarrow$$

$$Na_2CS_4 + CO_2 + H_2O = Na_2CO_3 + H_2S\uparrow + CS_2 + S\uparrow$$

【$NaNH_2$】 $NaNH_2 + C \xlongequal{红热} NaCN + H_2\uparrow$

$$NaNH_2 + H_2O = NaOH + NH_3\uparrow$$

$$NaNH_2 + N_2O \xlongequal{190℃} NaN_3 + H_2O$$

$$NaNH_2 + NH_4Cl = NaCl + 2NH_3\uparrow$$

【NaN_3】 $2NaN_3 \xlongequal{300℃} 2Na + 3N_2\uparrow$

$$2NaN_3 + (NH_4)_2SO_4 = 2NH_4N_3 + Na_2SO_4$$

$$5NaN_3 + NaNO_3 = 3Na_2O + 8N_2\uparrow$$

【NaClO】 $3NaClO \xlongequal{75℃} 2NaCl + NaClO_3$

$$NaClO + Hg = HgO\downarrow + NaCl$$

$$NaClO + CO_2 + H_2O = NaHCO_3 + HClO$$

$$NaClO + 2HCl = NaCl + Cl_2\uparrow + H_2O$$

（KClO也有类似的反应）

$$NaClO + 2KI + H_2SO_4 = NaCl + K_2SO_4 + I_2 + H_2O$$

$$NaClO + 2KI + 2CH_3COOH = 2CH_3COOK + NaCl + I_2 + H_2O$$

$$NaClO + NaClO_2 \xlongequal{50℃} NaClO_3 + NaCl$$

$$NaClO + 2FeSO_4 + H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + NaCl + H_2O$$

$$NaClO + 2NiSO_4 + 4NaOH + H_2O = 2Na_2SO_4 + 2Ni(OH)_3 + NaCl$$

$$NaClO + MnSO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + NaCl + MnO_2 + H_2O$$

注 NaClO与$Na_2S_2O_8$作用，根据分子比例不同而有以下三个反应：

$$NaClO + 2Na_2S_2O_3 + H_2O = Na_2S_4O_6 + 2NaOH + NaCl$$

$$4NaClO + Na_2S_2O_3 + H_2O = Na_2SO_4 + 4NaCl + H_2SO_4$$

$$5NaClO + 3Na_2S_2O_3 = Na_2S_4O_6 + 5NaCl + 2Na_2SO_4$$

$$NaClO + NaNO_2 = NaCl + NaNO_3$$

$$NaClO + Pb(CH_3COO)_2 + H_2O = 2CH_3COOH + \underset{(棕色)}{PbO_2} + NaCl$$

$$3NaClO + 2NaCrO_2 + 2NaOH = 3NaCl + 2Na_2CrO_4 + H_2O$$

[$NaClO_3$] $4NaClO_3 \xlongequal{\triangle} 3NaClO_4 + NaCl$

$$NaClO_3 + H_2O_2 \xlongequal{煮沸} NaCl + 2O_2 + H_2O$$

$$2NaClO_3 + 12HCl \xlongequal{\triangle} 2NaCl + 6Cl_2\uparrow + 6H_2O$$

$$4NaClO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{煮沸} 4NaHSO_4 + 4ClO_2 + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$4NaClO_3 + 4H_2SO_4 \xlongequal{煮沸} 4NaHSO_4 + 2Cl_2\uparrow + 5O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2NaClO_3 + H_2SO_4 + SO_2 = 2NaHSO_4 + 2ClO_2\uparrow$$

$$2NaClO_3 + 2H_2C_2O_4(过量) = 2ClO_2 + C_2O_4Na_2 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2NaClO_3 + H_2C_2O_4 + 2H_2SO_4 = 2NaHSO_4 + 2ClO_2 + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$NaClO_3 + 3H_2C_2O_4 = NaCl + 6CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$NaClO_3 + KCl \xlongequal{\triangle} KClO_3 + NaCl$$

（$KClO_3$的溶解度比$NaClO_3$小，故反应能进行）

$$2NaClO_3 + NH_4SCN = 2NaCl + HSCN + NH_3\uparrow + 3O_2\uparrow$$

【$NaClO_4$】 $NaClO_4 \xlongequal{\triangle} NaCl + 2O_2\uparrow$

$$NaClO_4 + HCl_{(气)} = NaCl\downarrow + HClO_4$$

$$NaClO_4 + KCl = NaCl + KClO_4\downarrow$$

$$3NaClO_4 + 8NH_4Cl \xlongequal{灼烧} 3NaCl + 8HCl + 4N_2\uparrow + 12H_2O$$

$$NaClO_4 + 4Na_2SO_3 \xlongequal{共熔} 4Na_2SO_4 + NaCl$$

$$NaClO_4 + NH_4NO_{3(浓)} = NH_4ClO_4 + NaNO_3$$

$$2NaClO_4 + Cd(NH_3)_4(NO_3)_{2(饱和)} \underset{(在浓氨液中)}{\rightleftharpoons} \underset{(白色)}{Cd(NH_3)_4(ClO_4)_2\downarrow} + 2NaNO_3$$

【NaBrO】 $NaBrO + H_2O_2 = NaBr + O_2\uparrow + H_2O$

$$3NaBrO_{(浓)} + 2NH_4Cl_{(固)} \xlongequal{\triangle} 3NaBr + 2HCl + N_2\uparrow + 3H_2O$$

$$3NaBrO + CO(NH_2)_2 \xlongequal{碱性} 3NaBr + CO_2\uparrow + N_2\uparrow + 2H_2O$$

【$NaBrO_3$】 $5NaBrO_3 + 3Cl_2 + 3H_2O = 5HBrO_3 + HClO_3 + 5NaCl$

$$2NaBrO_3 + 3NH_2OH = 2NaBr + 3HNO_2 + 3H_2O$$

$$NaBrO_3 + 2NaBr + 3NaCN + 3H_2SO_4 \xlongequal{加热至70℃} 3CNBr + 3Na_2SO_4 + 3H_2O$$

【NaIO】 $3NaIO = NaIO_3 + 2NaI$

（在碱性条件下，自动进行的反应）

$NaIO + NaOH + HCHO = HCOONa + NaI + H_2O$

$NaIO + NaI + 2HCl = 2NaCl + I_2 + H_2O$

【$NaIO_3$】 $NaIO_3 + Cl_2 + 3NaOH \xlongequal{搅动} Na_2H_3IO_6\downarrow + 2NaCl$

$2NaIO_3 + 5SO_2 + 4H_2O = Na_2SO_4 + 4H_2SO_4 + I_2$

$NaIO_3 + H_2SO_4 = HIO_3 + NaHSO_4$

$2NaIO_3 + BaCl_2 \xlongequal{加HCl} Ba(IO_3)_2\downarrow + 2NaCl$

（白色）

$NaIO_3 + 5NaI + 3H_2SO_4 = 3Na_2SO_4 + 3I_2\downarrow + 3H_2O$

$2NaIO_3 + 5NaHSO_3 = 3NaHSO_4 + 2Na_2SO_4 + I_2 + H_2O$

$2NaIO_3 + Pb(CH_3COO)_2 = Pb(IO_3)_2\downarrow + 2CH_3COONa$

（白色）

【$NaIO_4$】 $NaIO_4 + 2Na_2O \xlongequal{\triangle} Na_5IO_6$

$NaIO_4 + MoO_3 + Na_2CO_3 + 2NH_4NO_3 + H_2O = 2NaNO_3 + (NH_4)_2H_2NaIO_6\cdot MoO_3 + CO_2\uparrow$

【Na_2SO_4】 $Na_2SO_{4(固)} + 4H_2 \xlongequal{1000℃} Na_2S + 4H_2O$

$Na_2SO_{4(固)} + 4C \xlongequal{1000℃} Na_2S + 4CO\uparrow$

$Na_2SO_{4(固)} + 2C \xlongequal{\triangle} Na_2S + 2CO_2\uparrow$

$Na_2SO_{4(固)} + C \xlongequal{\triangle} Na_2SO_3 + CO\uparrow$

$2Na_2SO_{4(固)} + C \xlongequal{高温下} 2Na_2SO_3 + CO_2\uparrow$

$Na_2SO_{4(固)} + 2C + CaCO_{3(固)} \xlongequal{1000℃} Na_2CO_3 + CaS\downarrow + 2CO_2\uparrow$

$$Na_2SO_4 + CO \xlongequal{\triangle} Na_2CO_3 + SO_2\uparrow$$

（温度低于硫酸钠熔点）

$$6Na_2SO_4 + 2Fe_2O_3 + 13C \xlongequal{高温} 2[Na_2S\cdot 2FeS] + 4Na_2CO_3 + 9CO_2\uparrow$$

$$3Na_2SO_4 + 2Fe_2O_3 + 16C \xlongequal{高温} Na_6Fe_4S_3 + 14CO\uparrow + 2CO_2\uparrow$$

$$3Na_2SO_4 + Fe_2O_3 + 3SO_3 \xlongequal{538℃} 2Na_3Fe(SO_4)_3$$

$$Na_2SO_{4(无水)} + Fe_2O_3 + 3H_2SO_{4(浓)} \xlongequal[蒸干]{300℃} 2NaFe(SO_4)_2 + 3H_2O$$

$$3Na_2SO_{4(无水)} + Fe_2O_3 + 3H_2SO_{4(浓)} = 2Na_3Fe(SO_4)_3 + 3H_2O$$

$$Na_2SO_4 + Ca(OH)_2 = CaSO_4\downarrow + 2NaOH$$

$$Na_2SO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O = CaSO_4\cdot 2H_2O + 2NaOH$$

$$Na_2SO_4 + CaCl_2 = CaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

$$4Na_2SO_4 + SnCl_4 + 4H_2O \xlongequal{煮沸} Sn(OH)_4 + 4NaCl + 4NaHSO_4$$

$$Na_2SO_{4(干燥粉末)} + Fe_2(SO_4)_{3(干燥粉末)} \xlongequal[至538℃]{在真空中加热} 2NaFe(SO_4)_2$$

$$3Na_2SO_{4(干粉)} + Fe_2(SO_4)_{3(干粉)} \xlongequal{在真空中加热} 2Na_3Fe(SO_4)_3$$

$$Na_2SO_4 + 2NaCN \xlongequal{熔化} Na_2CO_3 + Na_2S + CO\uparrow + N_2\uparrow$$

$$Na_2SO_4 + BaCO_3 = BaSO_4\downarrow + Na_2CO_3$$

$$Na_2SO_4 + Na_2CO_3 + 2CaS \xlongequal[\text{加热、加压}]{\text{水蒸气上}} CaCO_3\downarrow + CaSO_4 + 2Na_2S$$

【$NaHSO_4$】　$$2NaHSO_{4(\text{固})} \xlongequal{\text{加热至熔点以上}} Na_2S_2O_7 + H_2O$$

$$Na_2S_2O_7 \xlongequal{\text{强热}} Na_2SO_4 + SO_3\uparrow$$

$$2NaHSO_4\cdot H_2O \xlongequal{\text{冷至极低温度}} Na_2SO_4\downarrow + H_2SO_4 + 2H_2O$$

【Na_2SO_3】　$$4Na_2SO_3 \xlongequal{\triangle} 3Na_2SO_4 + Na_2S$$

$$2Na_2SO_3 + O_2 \xlongequal[\text{(或光)}]{\text{Cu催化}} 2Na_2SO_4$$

$$2Na_2SO_3 + 3C \xlongequal{\triangle} 2Na_2S + 3CO_2\uparrow$$

$$Na_2SO_3 + I_2 + H_2O = Na_2SO_4 + 2HI$$

（Cl_2、Br_2有类似的反应）

$$Na_2SO_3 + I_2 + 2HCl + H_2O = 2NaCl + H_2SO_4 + 2HI$$

$$Na_2SO_3 + I_2 + Na_2S = Na_2S_2O_3 + 2NaI$$

$$Na_2SO_{3(\text{液})} + S_{(\text{粉})} \xlongequal{\text{煮沸}} Na_2S_2O_3$$

$$Na_2SO_3 + 3Zn + 8HCl = 3ZnCl_2 + 2NaCl + H_2S\uparrow + 3H_2O$$

$$Na_2SO_3 + H_2O_2 = Na_2SO_4 + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + HCl = NaHSO_3 + NaCl$$

（HCl应滴加）

$$Na_2SO_3 + H_2SO_{4(\text{稀})} = Na_2SO_4 + SO_2\uparrow + H_2O$$

$$2Na_2SO_3 + 3HNO_2 = 2NaNO_2 + K_2HNS_2O_7 + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + 2HNO_2 = Na_2SO_4 + 2NO\uparrow + H_2O$$

$$Na_2SO_3 + 2HNO_{3(\text{浓})} = Na_2SO_4 + 2NO_2\uparrow + H_2O$$

$$3Na_2SO_3 + 2HNO_3 = 3Na_2SO_4 + 2NO\uparrow + H_2O$$

$$3Na_2SO_3 + NaNO_2 + 2H_2O = N(SO_3Na)_3 + 4NaOH$$

$$Na_2SO_3 + CH_2O + H_2O = CH_2(OH)SO_3Na + NaOH$$

$$Na_2SO_3 + H-C\begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow H \end{matrix} + CH_3COOH = H_2C\begin{matrix} \nearrow OH \\ \searrow SO_3Na \end{matrix} + CH_3COONa$$

【$NaHSO_3$】 $2NaHSO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2SO_3 + SO_2\uparrow + H_2O$

$$4Na_2SO_3 \xlongequal{高温} Na_2S + 3Na_2SO_4$$

$$2NaHSO_3 = Na_2S_2O_5 + H_2O$$

$$NaHSO_3 + Cl_2 + H_2O = NaHSO_4 + 2HCl$$

$$NaHSO_3 + I_2 + H_2O = NaHSO_4 + 2HI$$

$$2NaHSO_3 + 2I_2 + 3Na_2CO_3 = 2Na_2SO_4 + 4NaI + 3CO_2\uparrow + H_2O$$

$$NaHSO_3 + I_2 + 3NaHCO_3 = Na_2SO_4 + 2NaI + 3CO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$4NaHSO_{3(浓)} + Zn = ZnSO_3 + Na_2SO_3 + Na_2S_2O_4 + 2H_2O$$

$$2NaHSO_3 + Zn + SO_2 = ZnSO_3 + Na_2S_2O_4 + H_2O$$

$$2NaHSO_3 + Zn + H_2SO_3 = Na_2S_2O_4 + ZnSO_3 + 2H_2O$$

$$NaHSO_3 + HCl = NaCl + SO_2\uparrow + H_2O$$

$$2NaHSO_3 + H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} Na_2SO_4 + 2SO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$5NaHSO_3 + 2KIO_3 + 2H_2SO_4 = 5NaHSO_4 + 2KHSO_4 + I_2 + H_2O$$

$$2NaHSO_3 + NaNO_2 = Na_2HNS_2O_7 + NaOH$$

$$NaHSO_3 + HCHO = HOCH_2SO_3Na$$

（羟基甲烷硫酸钠）

$$HOCH_2SO_3Na + NH_3 = H_2NCH_2SO_3Na + H_2O$$

$$2H_2NCH_2SO_3Na + H_2SO_4 = 2H_2NCH_2SO_3H + Na_2SO_4$$

【$Na_2S_2O_3$】 $3Na_2S_2O_3 = 3Na_2SO_3 + 3S\downarrow$

$$2Na_2SO_3 + 2O_3 = 2Na_2SO_4 + 2O_2\uparrow$$

$$Na_2S_2O_3 \xlongequal{细菌} Na_2SO_3 + S\downarrow$$

$$4Na_2S_2O_3 \xlongequal[高温]{隔绝空气} 3Na_2SO_4 + Na_2S_5$$

$$Na_2S_5 = Na_2S + 4S\downarrow$$

$$2Na_2S_2O_3 + O_2(\text{空气中}) = 2Na_2SO_4 + 2S\downarrow$$

（$S_2O_3^{2-}$可以作去氧化剂）

$$Na_2S_2O_3 + 2O_2 = Na_2SO_4 + SO_3\uparrow$$

（反应在10个大气压，温度在100℃时进行）

$$SO_3 + 2NH_3 + H_2O = (NH_4)_2SO_4$$

注： $Na_2S_2O_3$可被臭氧氧化为Na_2SO_4

$$Na_2S_2O_3 + O_3 = Na_2SO_4 + S\downarrow + O_2\uparrow$$

$$Na_2S_2O_3 + 4Cl_2 + 5H_2O = 2NaCl + 2H_2SO_4 + 6HCl$$

$$Na_2S_2O_3 + Cl_2 + H_2O = Na_2SO_4 + 2HCl + S\downarrow$$

$$Na_2S_2O_3 + 4Cl_2 + 5H_2O = 2NaHSO_4 + 8HCl$$

$$Na_2S_2O_3 + 4Cl_2 + 5H_2O = Na_2SO_4 + H_2SO_4 + 8HCl$$

（Br_2亦可发生类似的反应）

总之：$S_2O_8^{2-} + 4Cl_2 + 5H_2O = 2SO_4^{2-} + 10H^+ + 8Cl^-$

$$2Na_2S_2O_3 + I_2 = Na_2S_4O_6 + 2NaI$$

（反应在中性或弱酸性溶液中进行）

$$Na_2S_2O_3 + 4I_2 + 10NaOH = 2Na_2SO_4 + 8NaI + 5H_2O$$

$$Na_2S_2O_3 + Na_2SO_3 + I_2 \xlongequal{煮沸} Na_2S_3O_6 + 2NaI$$

$$Na_2S_2O_3 + H_2O = Na_2S + H_2SO_4$$

注：除重金属盐外大多数硫代硫酸盐皆溶于水。但有过量的$S_2O_3^{2-}$离子存在时，重金属盐则形成可溶性的络合物

$$2Na_2S_2O_3 + H_2O_2 = Na_2S_4O_6 + 2NaOH$$

$$2Na_2S_2O_3 + 4H_2O_2 = Na_2S_3O_6 + Na_2SO_4 + 4H_2O$$

$$Na_2S_2O_3 + 4H_2O_2 + 2NaOH = 2Na_2SO_4 + 5H_2O$$

（$S_2O_3{}^{2-}$在碱性溶液中稳定）

$$Na_2S_2O_3 + 2HCl = 2NaCl + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$$

$$5Na_2S_2O_3 + 6HCl \xlongequal{微量砷催化} 2Na_2S_5O_6 + 6NaCl + 3H_2O$$

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_{4(浓)} = Na_2S_2O_7 + H_2S\uparrow$$

$$Na_2S_2O_3 + H_2SO_{4(稀)} = Na_2SO_4 + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$$

$$Na_2S_2O_3 + H_2CO_3\ (水中) = NaHCO_3 + NaHSO_3 + S\downarrow$$

$$Na_2S_2O_3 + 2H_2CO_3 \xlongequal{标准状态} 2NaHCO_3 + H_2S_2O_3$$

$$H_2S_2O_3 \rightarrow H_2SO_3 + S$$

$$Na_2S_2O_3 + BaCl_2 = BaS_2O_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2S_2O_3 + \underset{\text{(硝酸乙二胺镍)}}{Ni(NH_2CH_2CH_2NH_2)_3(NO_3)_2} = 2NaNO_3 + \underset{\text{(紫色结晶)}}{Ni(NH_2CH_2CH_2NH_2)_3S_2O_3}$$

【$Na_2S_2O_4$】

$$2Na_2S_2O_4 \xlongequal{190℃} Na_2SO_3 + Na_2S_2O_3 + SO_2\uparrow$$

$$Na_2S_2O_4 + 2I_2 + 2H_2O = Na_2S_2O_6 + 4HI$$

$$2Na_2S_2O_4 + O_2 = 2Na_2S_2O_5 + \text{紫外线}$$

$$2Na_2S_2O_4 + O_2 + 2H_2O = 4NaHSO_3$$

$$Na_2S_2O_4 + O_2 + H_2O = NaHSO_3 + NaHSO_4$$

$$2Na_2S_2O_4 + 4HCl = 4NaCl + 3SO_2 + S\downarrow + 2H_2O$$

$$Na_2S_2O_4 + 2AgCl + 4NH_4OH = 2(NH_4)_2SO_3 + 2NaCl + 2Ag + 2H_2O$$

$$Na_2S_2O_4 + Co(C_2H_3O_2)_2 = CoS_2O_4 + 2NaC_2H_3O_2$$

【$Na_2S_2O_6$】 $Na_2S_2O_6 + 2Na = 2Na_2SO_3$

$$Na_2S_2O_6 + 4NaCN + H_2O = Na_2SO_3 + Na_2SO_4 + 2NaCN + 2HCN$$

【$NaNO_2$】 $4NaNO_2 \xlongequal{\triangle} 2Na_2O + 4NO + O_2\uparrow$

$$NaNO_2 + HCl = NaCl + HNO_2$$

$$2NaNO_2 + 4HI = 2NaI + 2NO + I_2 + 2H_2O$$

$$NaNO_2 + H_2SO_{4(\text{稀})} = NaHSO_4 + HNO_2$$

$$2NaNO_2 + H_2SO_{4(\text{稀})} = Na_2SO_4 + N_2O_3 + H_2O$$

$$2NaNO_2 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2HNO_2$$

$$3NaNO_{2(\text{固})} + H_2SO_4(2M) \xlongequal{\text{滴加}} Na_2SO_4 + NaNO_3 + 2NO + H_2O$$

$$NaNO_2 + NH_4Cl \xlongequal{} NaCl + NH_4NO_2$$
（常温溶液中的反应）

$$NaNO_2 + NH_4Cl \xlongequal{在醋酸存在下} NaCl + N_2\uparrow + 2H_2O$$
（实验室制取N_2的反应原理）

$$2NaNO_2 + 2KI + 4HCl \xlongequal{} 2KCl + 2NaCl + 2NO + I_2 + 2H_2O$$

$$2NaNO_2 + 2NaI + 2H_2SO_4 \xlongequal{} 2Na_2SO_4 + 2NO\uparrow + I_2 + 2H_2O$$

$$2NaNO_2 + 2KI + 2H_2SO_4 \xlongequal{} K_2SO_4 + 2NO\uparrow + Na_2SO_4 + I_2 + 2H_2O$$

$$NaNO_2 + 2Na_2SO_3 + 3NaHCO_3 \xlongequal{} 3Na_2CO_3 + Na_2HNS_2O_7 + H_2O$$

$$NaNO_2 + NaHCO_3 + 2SO_2 \xlongequal{} Na_2HNS_2O_7 + CO_2\uparrow$$

$$NaNO_2 + NH_2OH\cdot HCl \xlongequal{} NaCl + N_2O + 2H_2O$$

【$NaNO_3$】 $2NaNO_{3(固)} \xlongequal{730℃} 2NaNO_2 + O_2\uparrow$

注：电解熔化的$NaNO_3$时，其阴极上的钠可与硝酸钠作用：

$$2NaNO_3 + 10Na \xlongequal{电解} 6Na_2O + N_2\uparrow$$
（在低温下进行的反应）

$$NaNO_3 + 2Na \xlongequal{电解} Na_2O + NaNO_2$$
（在较高温度下进行的反应）

$$NaNO_{3(熔化态)} + Pb \xlongequal{400—450℃} PbO + NaNO_2$$

$$NaNO_3 + 7H_2O \xlongequal[(饱和液)]{15.7℃} NaNO_3\cdot 7H_2O$$

$$2NaNO_{3(干燥)} + SiO_{2(过量)} \xlongequal{\triangle} Na_2SiO_3 + N_2O_5$$

$$NaNO_3 + Na_2O \xlongequal{} Na_2O_2 + NaNO_2$$
（在较高温度下进行的反应）

$$NaNO_3(固) + HF(气流) \xrightarrow[加热至250℃]{在铁管中} NaF + HNO_3$$

$$NaNO_3(固) + HCl(气) \xlongequal{\triangle} NaCl + HNO_3\uparrow$$

$$NaNO_3(固) + HBr(气) \xlongequal{\triangle} NaBr + HNO_3$$

$$NaNO_3(固) + HI(气) \xlongequal{\triangle} NaI + HNO_3\uparrow$$

（剧烈爆炸性反应）

$$NaNO_3(固) + H_2SO_4(浓) \xlongequal{\triangle} NaHSO_4 + HNO_3$$

$$NaNO_3 + KCl \rightleftharpoons NaCl + KNO_3$$

$$NaNO_3 + 3FeCl_2 + 4HCl \xlongequal{\triangle} 3FeCl_3 + NaCl + NO + 2H_2O$$

$$2NaNO_3 + NaH_2PO_2 \xlongequal{} Na_3PO_4 + NO_2 + NO + H_2O$$

$$2NaNO_3 + NaNH_2 \xrightarrow[在液氨中]{封闭加热} NaN_3 + 2NaOH + 2O_2\uparrow$$

$$NaNO_3 + 3NaNH_2 \xlongequal{熔化} NaN_3 + NH_3 + 3NaOH$$

（叠氮化钠）

【NaH_2PO_2】 $$4NaH_2PO_2 \xlongequal{灼烧} Na_4P_2O_7 + 2PH_3\uparrow + H_2O$$

【Na_3PO_2】 $$5Na_3PO_2 + 4Na_3AsO_4 + 12HCl \xlongequal{} 5Na_3PO_4 + 12NaCl + 4As\downarrow + 6H_2O$$

【Na_2HPO_3】 $$8Na_2HPO_3 \xlongequal{灼烧} 4Na_3PO_4 + Na_4P_2O_7 + 2PH_3\uparrow + H_2O$$

$$4Na_2HPO_3 \xlongequal{\triangle} 2Na_3PO_4 + Na_2HPO_4 + PH_3\uparrow$$

$$2Na_2HPO_3 + SO_2 \xlongequal{煮沸} 2Na_2HPO_4 + S\downarrow$$

$$Na_2HPO_3 + BaCl_2 \xlongequal{} BaHPO_3\downarrow + 2NaCl$$

（白色）

（$BaHPO_3$沉淀溶于酸）

$$Na_2HPO_3 + 2HgCl_2 + H_2O = H_3PO_4 + Hg_2Cl_2 + 2NaCl$$

$$Na_2HPO_3 + CuSO_4 = CuHPO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

（淡蓝色）

（$CuHPO_3$沉淀溶于热CH_3COOH中）

$$Na_2HPO_3 + Pb(CH_3COO)_2 = 2CH_3COONa + PbHPO_3\downarrow$$

（白色）

（$PbHPO_3$不溶于醋酸）

【$NaPO_3$】（偏磷酸钠） $NaPO_3$（固）$+ CoO \xlongequal{\triangle} NaCoPO_4$

（磷酸钴钠·蓝色熔珠）

$NaPO_3$（固）$+ NiO \xlongequal{\triangle} NaNiPO_4$

（绿色熔珠）

$NaPO_3$（固）$+ CuO \xlongequal{\triangle} NaCuPO_4$

$3NaPO_3$（固）$+ Cr_2O_3 \xlongequal{\triangle} 2CrPO_4 + Na_3PO_4$

$$NaPO_3 + AgNO_3 = AgPO_3\downarrow + NaNO_3$$

$$2NaPO_3 + BaCl_2 = Ba(PO_3)_2\downarrow + 2NaCl$$

【Na_2HPO_4】 $2Na_2HPO_4 \xlongequal{\text{灼烧}} Na_4P_2O_7 + H_2O$

$$Na_2HPO_4 + CO_2 + H_2O = NaH_2PO_4 + NaHCO_3$$

$$Na_2HPO_4 + NaOH \xlongequal{\text{沸点}} Na_3PO_4 + H_2O$$

$$Na_2HPO_4 + NH_4OH \rightleftharpoons Na_2NH_4PO_4 + H_2O$$

$$Na_2HPO_4 + HCl = NaH_2PO_4 + NaCl$$

$$Na_2HPO_4 + NH_4NO_3 \xlongequal{\text{加热至300℃}} NaPO_3\downarrow + NaNO_3 + NH_3\uparrow + H_2O$$

$$Na_2HPO_4 + 5H_3PO_4 = 2NaH_4P_3O_{10} + 4H_2O$$

$$Na_2HPO_4 + 12(NH_4)_2MoO_4 + 23HNO_3 = 2NaNO_3 + 21NH_4NO_3 + (NH_4)_3PO_4 \cdot 12MoO_3\downarrow + 12H_2O$$

$$2Na_2HPO_4 + ZrO(NO_3)_2 + 2HCl = 2NaNO_3 + 2NaCl + ZrO(H_2PO_4)_2$$

$$Na_2HPO_4 + ZrO(NO_3)_2 \xlongequal{\text{中性或酸性}} ZrO(HPO_4) + 2NaNO_3$$

【NaH_2PO_4】 $xNaH_2PO_4 \xlongequal{\triangle} (NaPO_3)_x + xH_2O$

$$NaH_2PO_4 + NaOH \xlongequal{\text{酚酞指示剂}} Na_2HPO_4 + H_2O$$

$$NaH_2PO_4 + 2H_3PO_4 \xlongequal{\text{徐徐加热}} NaH_4P_3O_{10} + 2H_2O$$

$$NaH_2PO_4 + CaSO_4 = CaHPO_4 + NaHSO_4$$

$$NaH_2PO_4 + 2Na_2HPO_4 \xlongequal{\text{熔化}} \underset{\text{(三磷酸钠)}}{Na_5P_3O_{10}} + 2H_2O$$

【Na_3PO_4】 注：Na_3PO_4 的水解反应。

$$Na_3PO_4 + H_2O \rightleftharpoons Na_2HPO_4 + NaOH$$

即 $PO_4^{3-} + H_2O \rightleftharpoons HPO_4^{2-} + OH^-$

$$Na_2HPO_4 + H_2O \rightleftharpoons NaH_2PO_4 + NaOH$$

即 $HPO_4^{2-} + H_2O \rightleftharpoons H_2PO_4^- + OH^-$

$$6Na_3PO_{4(\text{沸液})} + 3H_2O + 4S = 2Na_2S + Na_2S_2O_3 + 6Na_2HPO_4$$

$$2Na_3PO_{4(\text{沸液})} + 3CaB_4O_7 = Ca_3(PO_4)_2 + 3Na_2B_4O_7$$

【$Na_4P_2O_7$】

$$2Na_4P_2O_7 + 3H_2SO_4 = 2NaH_3P_2O_7 + 3Na_2SO_4$$

$$Na_4P_2O_7 + 4HNO_3 = 4NaNO_3 + H_4P_2O_7$$

$$Na_4P_2O_7 + Na_2CO_3 \xlongequal{\text{熔化}} 2Na_3PO_4 + CO_2\uparrow$$

$$2Na_4P_2O_7 + Cu_2[Fe(CN)_6] = Na_4[Fe(CN)_6] + Na_4Cu_2(P_2O_7)_2$$

$$3Na_4P_2O_7 + Cu_3[Fe(CN)_6]_2 = 2Na_3[Fe(CN)_6] + 3CuNa_2P_2O_7$$

$$4Na_4P_2O_7 + Fe_4[Fe(CN)_6]_3 = 3Na_4[Fe(CN)_6] + 4NaFeP_2O_7$$

【Na_2CO_3】 $$Na_2CO_{3(\text{固})} \xrightarrow[\text{850℃以上}]{\text{灼热}} Na_2O + CO_2\uparrow$$

$$4Na_2CO_3 + 4Br_2 + BaS \xrightarrow{\triangle} 8NaBr + BaSO_4\downarrow + 4CO_2\uparrow$$

$$Na_2CO_{3(\text{固})} + 2C_{(\text{固})} + 241\text{千卡} \xrightarrow{\text{焙烧}} 3CO + 2Na$$

（K_2CO_3无此反应）

$$Na_2CO_{3(\text{固})} + 4C + N_2 \xrightarrow[\text{900℃}]{\text{铁催化剂}} 2NaCN + 3CO - 138.5\text{千卡}$$

$$Na_2CO_{3(\text{固})} + 3Mg \xrightarrow{\triangle} 3MgO + 2Na + C$$

$$Na_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons NaHCO_3 + NaOH$$

$$Na_2CO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + 2NaOH$$

$$2Na_2CO_3 + 3H_2O_2 = 2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$$

$$Na_2CO_{3(\text{过量})} + SO_2 = Na_2SO_3 + CO_2$$

$$Na_2CO_3 + 2SO_2 + H_2O = 2NaHSO_3 + CO_2\uparrow$$

$$2Na_2CO_3 + SO_2 + H_2O = 2NaHCO_3 + Na_2SO_3$$

$$Na_2CO_{3(\text{饱和})} + CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{30—40℃}} 2NaHCO_3$$

$$Na_2CO_3 + BaO_2 = BaCO_3\downarrow + Na_2O_2$$

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + 2NaOH$$

$$Na_2CO_{3(\text{纯净})} + 4HF_{(\text{纯净})} = 2NaHF_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + H_2S_{(\text{空气中})} \rightleftharpoons NaHS + NaHCO_3$$

$$3NaHS + 3NaHCO_3 + 2Fe(OH)_3 = Fe_2S_3 + 3Na_2CO_3 + 6H_2O$$

$$Na_2CO_3 + H_2S \xlongequal{\triangle} Na_2S + CO_2 + H_2O$$

$$Na_2CO_3\text{(1—3\%的溶液)} + H_2S \rightleftharpoons NaHS + NaHCO_3$$

$$Na_2CO_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + H_3PO_4 \xlongequal{沸点} Na_2HPO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Na_2HPO_4 + NaOH \xlongequal{沸点} Na_3PO_4 + H_2O$$

$$Na_2CO_3 + MgCl_2 = MgCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$Na_2CO_3 + 2NaCN \xlongequal[熔化]{100℃} 4Na + 3CO + N_2$$

$$3Na_2CO_3\text{(10\%)} + 8CuS = 4Cu_2S + 2Na_2S + Na_2S_2O_3 + 3CO_2\uparrow$$

（在充满CO_2的封闭管中加热至180℃）

$$2Na_2CO_3 + Cu(CH_3COO)_2\text{(浓)} + 3H_2O \xlongequal[反应后冷却]{50℃} Na_2CO_3\cdot CuCO_3\cdot 3H_2O\downarrow + 2CH_3COONa$$

$$Na_2CO_3 + CaS\text{(干态)} \xlongequal{\triangle} Na_2S + CaO + CO_2\uparrow$$

$$2Na_2CO_3 + NaIO_4 + 6MoO_3 + 17H_2O \xlongequal{蒸发} 2CO_2\uparrow + Na_5IO_6\cdot(MoO_3)_6\cdot 17H_2O$$

$$Na_2CO_3 + FeSO_4 \xlongequal{煮沸} FeCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$Na_2CO_3 + MgSO_4 = MgCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

$$Na_2CO_3 + KHSO_4 = NaHCO_3 + NaKSO_4$$

$$Na_2CO_3\text{(冷液)} + 2NaNO_2\text{(冷液)} + 4SO_2 + H_2O = CO_2\uparrow + 2HON(SO_3Na)_2$$

$$2HON(SO_3Na)_2 + 4H_2O \xlongequal[\text{(保持48小时)}]{90℃} 2NaHSO_4$$

$$+Na_2SO_4+(NH_2OH)_2\cdot H_2SO_4$$

$$2Na_2CO_3+Na_2SiF_6+H_2O=\!=\!=6NaF+H_2SiO_3\downarrow+2CO_2\uparrow$$

【$NaHCO_3$】 $2NaHCO_3\xlongequal{150—180℃}Na_2CO_3+CO_2\uparrow+H_2O$

$NaHCO_3+H_2O\rightleftharpoons NaOH+H_2CO_3$

（水解后其溶液呈碱性）

$2NaHCO_3+SO_2=\!=\!=Na_2SO_3+2CO_2\uparrow+H_2O$

$NaHCO_3+NaOH=\!=\!=Na_2CO_3+H_2O$

$NaHCO_3+HCl=\!=\!=NaCl+CO_2\uparrow+H_2O$

$NaHCO_3+HI=\!=\!=NaI+CO_2\uparrow+H_2O$

$NaHCO_3+H_2SO_4=\!=\!=NaHSO_4+CO_2\uparrow+H_2O$

$NaHCO_3+NH_4Cl\xlongequal[\text{加热}]{\text{封闭管中}}NaCl+NH_4HCO_3$

$2NaHCO_3+2NaCN\xlongequal{\text{高于正常大气压}}2Na_2CO_3+2HCN$

$6NaHCO_3+Al_2(SO_4)_3=\!=\!=3Na_2SO_4+2Al(OH)_3\downarrow+6CO_2\uparrow$

$NaHCO_3+NaH_2PO_4=\!=\!=Na_2HPO_4+CO_2\uparrow+H_2O$

$NaHCO_3+KHC_4H_4O_6=\!=\!=KNaC_4H_4O_6+CO_2\uparrow+H_2O$

（酒石酸氢钾）

【$Na_2C_2O_4$】 $Na_2C_2O_4\xlongequal{\text{灼烧}}Na_2CO_3+CO\uparrow$

$5Na_2C_2O_4+2KIO_3+6H_2SO_{4(\text{热})}=\!=\!=K_2SO_4+5Na_2SO_4+10CO_2\uparrow+I_2+6H_2O$

【$NaCH_3COO$】 $CH_3COONa_{(\text{固})}+NaOH_{(\text{固})}\xlongequal{\triangle}Na_2CO_3+CH_4\uparrow$

$CH_3COONa+H_2S=\!=\!=NaHS+CH_3COOH$

$$2CH_3COONa + H_3PO_4 = 2CH_3COOH + Na_2HPO_4$$

【Na_3UO_4】 $$2Na_3UO_4 + H_2O = Na_4U_2O_7 + 2NaOH$$

$$2Na_3UO_4 + SO_2 + 4H_2SO_4 = 2UOSO_4 + 3Na_2SO_4 + 4H_2O$$

$$2Na_3UO_4 + 6HF(气) \xlongequal{250℃} 2H_3UO_4\downarrow + 6NaF$$

$$2Na_3UO_4 + 6HCl(气) \xlongequal{\triangle} 2H_3UO_4\downarrow + 6NaCl$$

$$Na_3UO_4 + 3HBr(气) \xlongequal{300℃} H_3UO_4 + 3NaBr$$

$$Na_3UO_4 + 3H_2S = Na_3UOS_3 + 3H_2O$$

【其他含钠的化合物】

$$Na_3P + 3H_2O = 3NaOH + PH_3\uparrow$$

$$Na_3H_3P_2 + 3H_2O = 3NaOH + 2PH_3\uparrow$$

$$2Na_2SO_2 + H_2O = Na_2S_2O_3 + 2NaOH$$

$$Na_2S_4O_6 + 2KCN + 2NaOH = 2KSCN + Na_2SO_4 + Na_2SO_3 + H_2O$$

$$Na_2CS_3 \xlongequal[加热]{无O_2条件下} Na_2S + CS_2$$

$$Na_2S + 2H_2O \xlongequal{\triangle} 2NaOH + H_2S\uparrow$$

$$6NaOH + 3CS_2 \xlongequal{\triangle} Na_2CO_3 + 2Na_2CS_3 + 3H_2O$$

$$2Na_4[Fe(CN)_6] + 3H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} \underset{(白色)}{Na_2Fe[Fe(CN)_6]\downarrow} + 3Na_2SO_4 + 6HCN$$

$$Na_2Fe[Fe(CN)_6] + Na_2CO_3 + H_2S = Na_4Fe(CN)_6 + FeS + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Na_4SiO_4 + 4HCl = 4NaCl + H_4SiO_4$$

$$NaAlSi_3O_8 + 3Na_2CO_3 \xlongequal{熔融} NaAlO_2 + 3Na_2SiO_3 + 3CO_2\uparrow$$

（钠长石）

$$Na_3H_2IO_6 + 2HNO_3(15\%) = NaIO_4 + 2NaNO_3 + 2H_2O$$

$$Na_6Fe_2(P_2O_7)_6 \cdot 9H_2O + 6AgNO_3 = Ag_6Fe_2(P_2O_7)_6 \cdot 4H_2O\downarrow + 6NaNO_3 + 5H_2O$$

（淡绿黄色）

$$C_6H_4OHCOONa + 8H_2O_2 + NaOH = C_6H_2O_2(ONa)_2 \cdot 2H_2O + CO_2\uparrow + 2O_2\uparrow + 8H_2O$$

（橙色针状结晶）

$$Na(Hg)_x + NH_4Cl(浓溶液) = NaCl + NH_4(Hg)_x$$

（钠汞齐）

【Na^+检验法】 $$Na^+ + Zn^{2+} + 3UO_2^{2+} + 9CH_3COO^- \rightleftharpoons NaZn(UO_2)_3(C_2H_3O_2)_9\downarrow$$

（绿黄色结晶）

$$NaNO_3 + Zn(CH_3COO)_2 + 3UO_2(CH_3COO)_2 + CH_3COOH + 9H_2O = HNO_3 + NaCH_3COO \cdot Zn(CH_3COO)_2 \cdot 3UO_2(CH_3COO)_2 \cdot 9H_2O\downarrow$$

（黄色，醋酸铀酰锌钠）

（反应在中性或CH_3COOH酸性中进行）

$$Na^+ + Co(CH_3COO)_2 + 3UO_2(CH_3COO)_2 + CH_3COOH + 9H_2O = NaCo(UO_2)_3(CH_3COO)_9 \cdot 9H_2O + H^+$$

（金黄色，醋酸氧铀酰钴钠）

15.3 钾 $4s^1$ K=39.102

【K】 $$2K + H_2 \xlongequal{360-400℃} 2KH$$

$$KH + H_2O = KOH + H_2\uparrow$$

$$KH + NH_3 = KNH_2 + H_2\uparrow$$

$$2K + Cl_2 \xlongequal{\text{燃烧}} 2KCl$$

$$2K + Br_2\text{（液态）} = 2KBr$$

$$2K + I_2 \xlongequal{\triangle} 2KI$$

$$2K + O_2 \xlongequal{\text{燃烧}} K_2O_2$$

$$4K + O_2 = 2K_2O$$

$$K + O_2 \xlongequal{\text{燃烧}} KO_2$$

（常温时也可生成KO_2）

$$4K + O_2 + 2CO_2 = 2K_2CO_3$$

$$2K + S \xlongequal{\text{燃烧}} K_2S$$

$$3K + P = K_3P$$

$$2K + 2NH_3 \xlongequal[\text{加热}]{\text{Fe或}FeCl_3\text{催化}} 2KNH_2 + H_2\uparrow$$

$$2K + 2H_2O = 2KOH + H_2\uparrow$$

（K遇水燃烧）

$$6K + 6CO \xlongequal{80℃} K_6C_6O_6$$

$$2K + 2H^+ = 2K^+ + H_2\uparrow$$

$$2K + CuSO_4 + 2H_2O = K_2SO_4 + Cu(OH)_2\downarrow + H_2\uparrow$$

$$10K + 2KNO_3 = 6K_2O + N_2$$

$$2K + 2C_2H_2 \xlongequal{200℃\text{以下}} 2KHC_2 + H_2\uparrow$$

$$2KHC_2 \xlongequal{200℃\text{以上}} K_2C_2 + C_2H_2\uparrow$$

$$K_2C_2 + 2H_2O = 2KOH + C_2H_2\uparrow$$

$$2K + 2C_2H_5OH = 2C_2H_5OK + H_2\uparrow$$

【K_2O】　$K_2O + H_2O = 2KOH$

$K_2O + As_2O_3 = 2KAsO_2$

【K_2O_2】 $2K_2O_2 + 2H_2O = 4KOH + O_2\uparrow$

【KO_2】 $2KO_2 + 2H_2O = 2KOH + H_2O_2 + O_2\uparrow$

$4KO_2 + 4H_2O = 4KOH + 2H_2O + 3O_2\uparrow$

$4KO_2 + 2H_2O = 4KOH + 3O_2\uparrow$

$4KO_2 + 2CO_2 = 2K_2CO_3 + 3O_2\uparrow$

$4KO_2 + 4CO_2 + 2H_2O = 4KHCO_3 + 3O_2\uparrow$

$2KO_2 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + H_2O_2 + O_2\uparrow$

【KO_3】 $2KO_3 = 2KO_2 + O_2\uparrow$
（臭氧化钾）

【KOH】 **注：**与NaOH相类似。

$6KOH_{(固)} + 4O_{3(气)} = 4KO_3 + 2[KOH\cdot H_2O] + O_2\uparrow$
（固体、桔红色） （固体）

$4KOH_{(固)} + 4O_3 = 4KO_3 + O_2\uparrow + 2H_2O$

$2KO_3 = 2KO_2 + O_2\uparrow$

$6KOH + 3S \xlongequal{\triangle} 2K_2S + K_2SO_3 + 3H_2O$

$2KOH + SO_2 = K_2SO_3 + H_2O$

$KOH + CO_2 = KHCO_3$

$2KOH + H_2S = K_2S + 2H_2O$

$KOH_{(在酒精中)} + H_2CO_{3(过量，在酒精中)} = KHCO_3 + H_2O$

$KOH + KHSO_4 = K_2SO_4 + H_2O$

$3KOH + C_6H_6Cl_6 = C_6H_3Cl_3 + 3KCl + 3H_2O$
（六六六遇碱分解的反应）

【KF】 $4KF_{(固)} + 4MnO_{2(固)} \xlongequal{\triangle} 4MnO + 2K_2O + 2F_2\uparrow + O_2\uparrow$
（反应需在铂金曲颈并中进行）

$$6KF + Al(OH)_3 = AlF_3 \cdot 3KF + 3KOH$$

$$KF + HF = KHF_2$$

$$2KHF_2\text{（熔融）} \xrightarrow{\text{电解}250-270℃} 2KF + \underset{\text{（阴极）}}{H_2\uparrow} + \underset{\text{（阳极）}}{F_2\uparrow}$$

$$2KF\text{（固）} + H_2SO_4\text{（浓）} = K_2SO_4 + 2HF\uparrow$$

$$2KF + SiF_4 = K_2SiF_6$$

$$2KF + CaC_2 \xrightarrow[\text{加热}1000℃]{\text{全钢管中}} CaF_2 + 2K + 2C$$

$$6KF + AlCl_3 + xHCl = AlF_3 \cdot 3KF + 3KCl + xHCl$$

$$2KF + Na_2SO_4 = 2NaF + K_2SO_4$$

$$2KF + 2CuSO_4 + H_2O = CuF(OH) + CuK_2(SO_4)_2 + HF$$

$$2KF\text{（固）} + 2KNO_3\text{（固）} \xrightarrow{\triangle} 2K_2O + 2NO + F_2 + O_2$$

【KCl】 $KCl\text{（熔化）} + Na \underset{}{\overset{850℃}{\rightleftharpoons}} NaCl + K\uparrow$

（工业上制金属钾）

$$2KCl + H_2SO_4\text{（过量）} \xrightarrow{\triangle} K_2SO_4 + 2HCl$$

$$KCl + H_2SO_4\text{（适量）} = KHSO_4 + HCl$$

$$KCl + HNO_3(35\%) \xrightarrow{\text{冷却}10℃\text{以下}} KNO_3 + HCl$$

（冷却后可得结晶）

$$KCl + KHSO_4 \xrightarrow{\triangle} K_2SO_4 + HCl$$

$$2KCl + 3MgCO_3 + 3CO_2 + 11H_2O \xrightarrow{\text{加压加热}} 2[KHCO_3 \cdot Mg(HCO_3)_2 \cdot 4H_2O] + MgCl_2$$

$$2[KHCO_3 \cdot Mg(HCO_3)_2 \cdot 4H_2O] \xrightarrow{\text{加热至}120℃} K_2CO_3 + 2MgCO_3 + 3CO_2\uparrow + 11H_2O$$

$$2KCl + 3[MgCO_3 \cdot 3H_2O] + CO_2 \xlongequal{20℃} MgCl_2 + 2[MgCO_3 \cdot KHCO_3 \cdot 4H_2O]$$

$$16KCl + 5Cd_2[Fe(CN)_6] + 4Li_4[Fe(CN)_6] \xlongequal{} 16LiCl + 5Cd_2[Fe(CN)_6] \cdot 4K_4[Fe(CN)_6]$$

（可溶）

（此反应可用来检验K^+）

$$KCl + H_2C_4H_4O_6 + CH_3COONa \xlongequal{} KHC_4H_4O_6 + NaCl + CH_3COOH$$

$$KCl + NaHC_4H_4O_6 \xlongequal{} KHC_4H_4O_6\downarrow + NaCl$$

（白色）

（其他钾盐也有类似的反应）

$$K^+_{(浓)} + HC_4H_4O_6^- \xlongequal[低温]{中性} KHC_4H_4O_6\downarrow$$

（反应后所生沉淀溶于强酸、强碱中）

【KBr】 $$2KBr_{(固)} + MnO_{2(固)} + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} MnSO_4 + Br_2\uparrow + K_2SO_4 + 2H_2O$$

$$2KBr + H_2SO_4 \xlongequal{共蒸馏} 2HBr + K_2SO_4$$

$$2KBr + 4HNO_{3(热、浓)} \xlongequal{} 2KNO_3 + 2NO_2\uparrow + Br_2\uparrow + 2H_2O$$

$$KBr_{(固)} + H_3PO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} KH_2PO_4 + HBr\uparrow$$

（制取HBr的反应）

【KI】 $$4KI + O_2 + 4HNO_{3(稀)} \xlongequal{} 4KNO_3 + 2I_2 + 2H_2O$$

$$2KI + SO_3 \xlongequal{} K_2SO_3 + I_2$$

$$2KI + N_2O_3 + 2HNO_3 \xlongequal{} 2KNO_3 + 2NO + I_2 + H_2O$$

（因为$2HNO_3 \xlongequal{日光} N_2O_3 + O_2\uparrow + H_2O$）

$$2KI + MnO_2 + 2H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{强热} MnSO_4 + K_2SO_4 + I_2 + 2H_2O$$

$$2KI(固) + MnO_2 + 3H_2SO_4(浓) \xlongequal{微热} 2KHSO_4 + MnSO_4 + I_2\uparrow + 2H_2O$$

$$KI + HCl = KCl + HI$$

$$4KI + 4HCl(稀) + O_2(空气中) = 4KCl + 2I_2 + 2H_2O$$

$$6KI + 4HCl + O_2\ (空气) = 2KI_3 + 4KCl + 2H_2O$$

（在酸性溶液中碘化物易被氧化）

$$2KI + HOCl + HCl = 2KCl + I_2 + H_2O$$

$$2KI(浓) + 2H_2SO_4 = K_2SO_4 + SO_2\uparrow + I_2\uparrow + 2H_2O$$

$$8KI + 9H_2SO_4\ (适量) = (KHSO_4)_8\cdot 4H_2O + 4I_2 + H_2S$$

$$2KI + 3H_2SO_4\ (过量) = 2KHSO_4 + SO_2\uparrow + I_2 + 2H_2O$$

$$8KI(固) + 5H_2SO_4(浓) \xlongequal{强热} H_2S\uparrow + 4I_2\uparrow + 4K_2SO_4 + 4H_2O$$

（NaI也有类似的反应）

$$2KI + 2HNO_2 + 2HCl = 2KCl + 2NO + I_2 + 2H_2O$$

$$2KI + 2HNO_2 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2NO\uparrow + I_2 + 2H_2O$$

$$KI + H_3PO_4 \xlongequal{\triangle} KH_2PO_4 + HI\uparrow$$

$$4KI + HgCl_2(过量) = 2KCl + HgI_2\cdot 2KI$$

$$HgI_2\cdot 2KI + HgCl_2 = 2KCl + \underset{(红色)}{2HgI_2\downarrow}$$

$$HgI_2 + 2KI = K_2HgI_4$$

$$2KI + K_2S_2O_8 = 2K_2SO_4 + I_2$$

$$2KI + (NH_4)_2S_2O_8 = (NH_4)_2SO_4 + K_2SO_4 + I_2$$

（反应时生成大量的碘）

$$2KI + 2KNO_2 + 4CH_3COOH = 4CH_3COOK + 2NO + I_2 + 2H_2O$$

$$2KI + 2CuSO_4 + H_2SO_3 + H_2O = Cu_2I_2 + K_2SO_4 + 2H_2SO_4$$

$$2KI + 2CuSO_4 + 2K_2S_2O_3 = Cu_2I_2 + K_2S_4O_6^{2-} + 2K_2SO_4$$

$$6KI + K_2Cr_2O_7 + 7SO_3 = Cr_2(SO_4)_3 + 4K_2SO_4 + 3I_2$$

$$2KI + 2K_3[Fe(CN)_6] \xrightarrow{加苯} 2K_4[Fe(CN)_6] + I_2$$

（生成的I_2溶于苯层中，使苯层变成紫色）

【KCN】 $2KCN + O_2 \xrightarrow{熔化} 2KOCN$

$$KCN + S \xrightarrow{煮沸} KSCN + 16千卡$$

（或KCN和S两种固体熔融）

$$KCN + 2H_2O \xrightarrow{放置} HCOOK + NH_3\uparrow$$

$$KCN + H_2O \rightleftharpoons KOH + HCN\uparrow$$

（正常的水解反应式）

$$KCN_{(固)} + H_2O_{2(30\%)} \xrightarrow{\triangle} KOCN + H_2O$$

$$KOCN + 2H_2O = KHCO_3 + NH_3\uparrow$$

$$2KCN + CO_2 + H_2O = 2HCN + K_2CO_3$$

$$2KCN + 2KOH + 2H_2O + O_2 = 2K_2CO_3 + 2NH_3\uparrow$$

$$KCN + PbO \xrightarrow{\triangle} KOCN + Pb\downarrow$$

$$KCN + HCl = KCl + HCN\uparrow$$

（NaCN有类似的反应。冷的稀酸与可溶性氰化物均可发生此反应）

$$4KCN_{(浓)} + 5H_2S_{(气)} = 2K_2S + NH_4HS + C_4H_5N_3S_2\downarrow$$

（黄色）

$$KCN + 2H_2SO_4(浓) + H_2O = KHSO_4 + NH_4HSO_4 + CO\uparrow$$

$$2KCN + 2H_2SO_4(浓) + 2H_2O = K_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2CO\uparrow$$

$$2KCN + H_2SO_4(中等浓度) = 2HCN + K_2SO_4$$

$$3KCN + CrCl_3 = Cr(CN)_3 + 3KCl$$

〔$Cr(CN)_3$沉淀可溶于过量的KCN〕

$$Cr(CN)_3 + 3KCN(过量) = K_3[Cr(CN)_6]$$

$$KCN + (NH_4)_2S_2 = KCNS + (NH_4)_2S$$

$$KCN(粉末) + KHS(粉末) \xlongequal{\triangle} K_2S + HCN\uparrow$$

$$3KCN + KClO_3 + 6HCl(浓) \xlongequal{滴加} 3CNCl + 4KCl + 3H_2O$$

$$KCN + NaHCO_3 \xlongequal{煮沸} KNaCO_3 + HCN\uparrow$$

$$KCN + H_2CO_3 = KHCO_3 + HCN\uparrow$$

(如KCN溶液与空气中CO_2的反应)

$$KCN + KOCl = KCNO + KCl$$

$$2KCNO + 3KOCl + 2KOH = 2K_2CO_3 + N_2\uparrow + 3KCl + H_2O$$

【KCNO】 $KCNO + 2H_2O = KHCO_3 + NH_3\uparrow$

(KCNO干态时很稳定，在溶液中易水解)

$$KCNO + H_2SO_4(稀) = HCNO + KHSO_4$$

(浓H_2SO_4有类似的反应，但反应更剧烈)

$$HCNO + H_2SO_4 + H_2O = NH_4HSO_4 + CO_2\uparrow$$

$$4KCNO(浓) + Co(CH_3COO)_2 = 2CH_3COOK + K_2Co(CNO)_4$$

(天蓝色)

$$K_2Co(CNO)_4 \xlongequal{在大量H_2O中} Co(CNO)_2 + 2KCNO$$

(无色)

【KCNS】 $$2KCNS + 2H_2SO_{4(浓)} + 2H_2O = (NH_4)_2SO_4 + 2COS + K_2SO_4$$

$$KCNS + 2H_2SO_{4(浓)} + H_2O \xrightarrow{\triangle} KHSO_4 + NH_4HSO_4 + COS$$

（若H_2SO_4的浓度很高，则有HCOOH、CO_2、SO_2等生成，同时有S↑）

$$KCNS + 2HNO_{3(稀)} \xrightarrow{\triangle} KHSO_4 + 2NO\uparrow + HCN\uparrow$$

$$2KCNS + 4HNO_3 + MnO_2 = Mn(NO_3)_2 + (CNS)_2 + 2KNO_3 + 2H_2O$$

$$KCNS + KHSO_4 \xrightarrow{在真空中} HCNS + K_2SO_4$$

$$3KCNS + 10HCl + 13KNO_3 = 16NO\uparrow + 10KCl + 3CO_2\uparrow + 3K_2SO_4 + 5H_2O$$

【K_2S】 $$K_2S + 2HCl = 2KCl + H_2S\uparrow$$

$$K_2S + CS_2 = K_2CS_3$$

【KClO】 $$KClO = KCl + [O]$$

$$3KClO \xrightarrow{\triangle} 2KCl + KClO_3$$

（在溶液中进行的反应）

$$KClO + H_2O_2 = KCl + H_2O + O_2\uparrow$$

$$2KClO + H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2HClO$$

【$KClO_2$】 $$3KClO_2 \xrightarrow{\triangle} KCl + 2KClO_3$$

$$2KClO_2 + Cl_2 \xrightarrow{空气} 2KCl + 2ClO_2\uparrow$$

（反应时，Cl_2用空气稀释）

【$KClO_3$】 $$4KClO_3 \xrightarrow{395℃} 3KClO_4 + KCl$$

$$2KClO_3 \xrightarrow{灼烧} KClO_4 + KCl + O_2\uparrow$$

（纯$KClO_3$单独加热）

$$2KClO_3 \xrightarrow[MnO_2]{200℃} 2KCl + 3O_2\uparrow$$

（实验室制氧法）

注： $KClO_3$和MnO_2的反应机理有两种可能的情况：

$$2KClO_3 + 4MnO_2 \xlongequal{\triangle} 2KCl + 2Mn_2O_7$$

$$2Mn_2O_7 \xlongequal{\triangle} 4MnO_2 + 3O_2\uparrow$$

+）

$$2KClO_3 + (4MnO_2) \xlongequal{\triangle} 2KCl + (4MnO_2) + 3O_2\uparrow$$

或：

$$2KClO_3 + 2MnO_2 \xlongequal{\triangle} 2KMnO_4 + Cl_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$2KMnO_4 \xlongequal{\triangle} K_2MnO_4 + MnO_2 + O_2\uparrow$$

$$K_2MnO_4 + Cl_2 \xlongequal{\triangle} 2KCl + MnO_2 + O_2\uparrow$$

+）

$$2KClO_3 + (2MnO_2) \xlongequal{\triangle} 2KCl + (2MnO_2) + 3O_2\uparrow$$

$$KClO_3 + 3H_2 \xlongequal{常温} KCl + 3H_2O$$

$$2KClO_3 + Br_2 \xlongequal{} 2KBrO_3 + Cl_2\uparrow$$

$$5KClO_3 + 3I_2 + 3H_2O \xlongequal{} 3KH(IO_3)_2 + 2KCl + 3HCl$$

$$2KClO_3 + I_2 \xlongequal{} 2KIO_3 + Cl_2\uparrow$$

$$KClO_3 + I_2 \xlongequal{} KIO_3 + ICl$$

$$KClO_3 + S + H_2O \xlongequal{\triangle} H_2SO_4 + KCl$$

$$KClO_3 + 3Zn + 3H_2SO_4 + AgNO_3 \xlongequal{} KNO_3 + 3ZnSO_4 + AgCl\downarrow + 3H_2O$$

$$KClO_3 + 3Zn + 6NaOH \xlongequal{} KCl + 3Na_2ZnO_2 + 3H_2O$$

$$KClO_3 + 2Al + 2NaOH \xlongequal{} KCl + 2NaAlO_2 + H_2O$$

$$KClO_3 + H_2O \xrightarrow{电解} H_2\uparrow + KClO_4$$
（阴极） （阳极）

$$KClO_3 + 3MnO_2 + 6KOH = 3K_2MnO_4 + KCl + 3H_2O$$

$$KClO_3 + 6HCl_{(浓)} = KCl + 3Cl_2\uparrow + 3H_2O$$

$$KClO_3 + 2HCl \xrightarrow{Pt催化} KClO + 2HClO$$

$$KClO_3 + 3H_2SO_3 = KCl + 3H_2SO_4$$

$$3KClO_3 + 2H_2SO_{4(浓)} = 2KHSO_4 + 2ClO_2 + KClO_4 + H_2O$$

$$KClO_3 + H_2SO_{4(浓)} = KHSO_4 + HClO_3$$

$$KClO_3 + HNO_3 = KNO_3 + HClO_3$$

$$2KClO_3 + H_2C_2O_4 \xrightarrow{60℃} K_2CO_3 + CO_2\uparrow + 2ClO_2\uparrow + H_2O$$

$$2ClO_2 = Cl_2\uparrow + 2O_2\uparrow$$

$$KClO_3 + 3H_2C_2O_4 = KCl + 6CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$2KClO_3 + 3HCHO \xrightarrow{65℃} 2KCl + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$KClO_3 + 3HCHO \xrightarrow{65℃} KCl + 3HCOOH$$

$$KClO_3 + 6KI + 6HCl = 7KCl + 3I_2 + 3H_2O$$

$$KClO_3 + 6KI + 3H_2SO_4 = 3K_2SO_4 + KCl + 3I_2 + 3H_2O$$

$$2KClO_3 + K_2S_2O_8 = 2K_2SO_4 + 2ClO_2\uparrow + O_2\uparrow$$
（制取ClO_2的方法）

$$KClO_3 + 3KNO_2 = 3KNO_3 + KCl$$

[$KClO_4$] $KClO_4 + 8千卡 \xrightarrow{610℃} KCl + 2O_2\uparrow$

$$KClO_{4(固)} + H_2SO_{4(浓)} \xrightarrow{\triangle} KHSO_4 + HClO_4$$
（利用减压蒸馏法可制得$HClO_4$）

$$2KClO_4(粉) + H_2SO_4(浓) \xrightarrow[至190℃]{油浴上加热} K_2SO_4 + 2HClO_4$$

$$2KClO_4 + 2H_2SO_4(浓) = Cl_2O + 2KHSO_4 + 3O_2\uparrow + H_2O$$

（反应很剧烈）

【$KBrO_3$】 $2KBrO_3 + I_2 = 2KIO_3 + Br_2$

$$2KBrO_3 + 3C \xlongequal{\triangle} 2KBr + 3CO_2\uparrow$$

（$NaBrO_3$也可发生类似的反应）

$$KBrO_3 + 5KBr + 6HCl(浓) = 6KCl + 3Br_2 + 3H_2O$$

$$KBrO_3 + 5KBr + 3H_2SO_4 = 3K_2SO_4 + 3Br_2 + 3H_2O$$

$$KBrO_3(过量) + 6KI + 6HCl(浓) = KBr + 6KCl + 3I_2 + 3H_2O$$

$$KBrO_3 + 6KI + 3H_2SO_4 = KBr + 3K_2SO_4 + 3I_2 + 3H_2O$$

【KIO_3】 $2KIO_3 \xlongequal{\triangle} 2KI + 3O_2\uparrow$

$$4[KIO_3 \cdot HIO_3] \xlongequal{\triangle} 4KI + 11O_2 + 2I_2 + 2H_2O$$

$$KIO_3 + Cl_2 + 2KOH \xlongequal{\triangle} KIO_4\downarrow + 2KCl + H_2O$$

$$KIO_3 + 2I_2 + 6HCl = 5ICl + KCl + 3H_2O$$

$$2KIO_3 + 5SO_2 + 4H_2O = K_2SO_4 + 4H_2SO_4 + I_2$$

$$KIO_3 + HIO_3 + 10KI + 11HCl = 11KCl + 6I_2 + 6H_2O$$

$$2KIO_3 + H_2SO_4 = K_2SO_4 + 2HIO_3$$

$$KIO_3 + 5KI + 6HCl(浓) = 6KCl + 3I_2 + 3H_2O$$

$$KIO_3 + 5KI + 6KHSO_4 = 6K_2SO_4 + 3I_2 + 3H_2O$$

$$KIO_3 + 5KI + 6H_2SO_4(稀) = 6KHSO_4 + 3I_2 + 3H_2O$$

$$2KIO_3 + 5Na_2SO_3 + H_2SO_4 = 5Na_2SO_4 + K_2SO_4 + I_2 + H_2O$$

（$KBrO_3$也有类似的反应）

$$2KIO_3 + Hg(NO_3)_2 = Hg(IO_3)_2\downarrow + 2KNO_3$$
（白色）

$$2KIO_3 + 5H_3SbO_3 + 2HCl = 5H_3SbO_4 + 2KCl + I_2 + H_2O$$

【KIO_4】 $5KIO_4 + 2MnSO_4 + 3H_2O = 2HMnO_4 + 5KIO_3 + 2H_2SO_4$

【K_2SO_4】 $2K_2SO_{4(固)} + C \xlongequal{高温下} 2K_2SO_3 + CO_2\uparrow$

$$K_2SO_4 + SO_3 \xlongequal{密封加热} K_2S_2O_7$$
（焦硫酸钾）

$$K_2S_2O_7 \xlongequal{\Delta} K_2SO_4 + SO_3\uparrow$$

$$K_2SO_4 + H_2SO_4 \xlongequal{\Delta} 2KHSO_4$$

$$2KHSO_{4(固)} \xlongequal{强热} K_2SO_4 + SO_3\uparrow + H_2O$$

$$2KHSO_4 \xlongequal{加热至熔点后冷却} K_2S_2O_7 + H_2O$$

$$K_2S_2O_7 \xlongequal{强热} K_2SO_4 + SO_3\uparrow$$

$$K_2SO_4 + H_3PO_4 \xlongequal{80℃} KH_2PO_4 + KHSO_4$$

$$K_2SO_4 + Al_2(SO_4)_3 + 24H_2O = 2KAl(SO_4)_2\cdot 12H_2O$$

【$K_2S_2O_3$】 $6K_2S_2O_3 + 3I_2 = 3K_2S_4O_6 + 6KI$

$$K_2S_2O_3 + 2HCl = 2KCl + SO_2\uparrow + S\downarrow + H_2O$$

$$K_2S_2O_3 + CuSO_4 = CuS_2O_3\downarrow + K_2SO_4$$
（蓝色）

$$K_2S_2O_3 + 2AgNO_3 = Ag_2S_2O_3\downarrow + 2KNO_3$$

【$K_2S_2O_7$】 $3K_2S_2O_7 + Al_2O_3 \xlongequal{共熔} Al_2(SO_4)_3 + 3K_2SO_4$

$$3K_2S_2O_{7(固)} + Fe_2O_{3(固)} \xlongequal{\Delta} Fe_2(SO_4)_3 + 3K_2SO_4$$

$K_2S_2O_7 + H_2O = 2KHSO_4$（水解反应）

【$K_2S_5O_6$】 $2K_2S_5O_6 + 6KOH = 5K_2S_2O_3 + 3H_2O$

$$2K_2S_3O_6 + 6KOH = K_2S_2O_3 + 4K_2SO_3 + 3H_2O$$

【$K_2S_2O_8$】 $2K_2S_2O_8 \xlongequal{\triangle} 2K_2SO_4 + 2SO_3 + O_2\uparrow$

$$2K_2S_2O_8 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} 2K_2SO_4 + 2H_2SO_4 + O_2\uparrow$$

$$2K_2S_2O_8 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} 4KHSO_4 + O_2\uparrow$$

（所有可溶性的过二硫酸盐均有此类反应发生）

$$K_2S_2O_8 + 2H_2O \xlongequal{\text{加}H_2SO_4} 2KHSO_4 + H_2O_2$$

【KNO_2】 $4KNO_2 \xlongequal{\triangle} 2K_2O + 4NO\uparrow + O_2\uparrow$

$$KNO_2 + Cl_2 + H_2O \xlongequal{\text{光、}HNO_3} 2HCl + KNO_3$$

$$KNO_2 + I_2 + H_2O = KNO_3 + 2HI$$

$$KNO_2 + 3CrO_3 \xlongequal{\triangle} KNO_2 \cdot 3CrO_3$$

（石榴红色）

$$KNO_2 + 4KHSO_{3(\text{热液})} \xlongequal{\text{常搅}} N(SO_3K)_3 + K_2SO_3 + 2H_2O$$

$$KNO_2 + 3K_2SO_3 + 2H_2O = N(SO_3K)_3 + 4KOH$$

【KNO_3】 $4KNO_3 \xlongequal{\triangle} 2K_2O + 4NO\uparrow + 3O_2\uparrow$

$$2KNO_3 \xlongequal{670^\circ C} 2KNO_2 + O_2\uparrow$$

$$2KNO_{3(\text{固})} + C \xlongequal{\triangle} 2KNO_2 + CO_2\uparrow$$

$$2KNO_3 + S + 3C = K_2S + N_2\uparrow + 3CO_2\uparrow + 169\text{千卡}$$

（黑火药爆炸反应的原理）

$$6KNO_{3(\text{固})} + 10Fe_{(\text{粉})} \xlongequal{\text{缓缓加热}} 5Fe_2O_3 + 3K_2O + 3N_2\uparrow$$

（实验室制N_2的反应原理）

$$KNO_3 + 3CH_3COOH + Zn = Zn(CH_3COO)_2 + HNO_2 + CH_3COOK + H_2O$$

$$KNO_3(固) + H_2SO_4(浓) \overset{\triangle}{\rightleftharpoons} HNO_3 + KHSO_4$$

$$4HNO_3 \overset{\triangle}{=\!=} 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2H_2O$$

$$KNO_3 + NH_4Cl + 2HCl(过量) \overset{\triangle}{=\!=} KCl + Cl_2 + N_2 + 3H_2O$$

$$12KNO_3 + 5[(N_2H_4)_2 \cdot H_2SO_4] \xrightarrow[无空气]{碱性溶液中} 5K_2SO_4 + 2KOH + 16N_2\uparrow + 5O_2\uparrow + 24H_2O$$

$$24KNO_3 + 5C_6H_{12}O_6 = 24KHCO_3 + 12N_2\uparrow + 6CO_2 + 18H_2O$$

（土壤中反硝化菌的作用）

【$K_4P_2O_7$】（焦磷酸钾） $K_4P_2O_7 + 2CuSO_4 = Cu_2P_2O_7\downarrow$（灰蓝色）$+ 2K_2SO_4$

$$K_4P_2O_7 + K_2CO_3 = 2K_3PO_4 + CO_2\uparrow$$

$$xK_4P_2O_7 + (KPO_3)_x \overset{共熔}{=\!=} xK_5P_3O_{10}$$

$$3K_4P_2O_7 + Cu_2P_2O_7 = 2K_6[Cu(P_2O_7)_2]$$

【K_2CO_3】 $3K_2CO_3 + 3Cl_2 \overset{微沸}{=\!=} 5KCl + KClO_3 + 3CO_2\uparrow$

（I_2亦可以发生类似的反应）

$$K_2CO_3 + I_2 + SO_2 + CH_3OH = CH_3HSO_4 + 2KI + CO_2\uparrow$$

$$K_2CO_3 + 2NH_3(气) + 4C \overset{高温}{=\!=} 2KCN + 3CO\uparrow + 3H_2\uparrow$$

$$K_2CO_3 + 2H_2O \rightleftharpoons 2KOH + H_2CO_3$$

$$2K_2CO_3 + 4H_2O + CO_2 \overset{徐徐蒸发}{=\!=} K_2CO_3(KHCO_3)_2 \cdot 3H_2O$$

$$K_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + 2KOH$$

$$K_2CO_3 + H_2S \rightleftharpoons KHS + KHCO_3$$

$$K_2CO_3 + 2HCN + AgNO_3 = KAg(CN)_2 + KNO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$K_2CO_3 + 2NaPO_3 \xrightarrow{\text{共熔}} K_2Na_2P_2O_7 + CO_2\uparrow$$

【$KHCO_3$】　$$2KHCO_3 + (NH_4)_2SO_4 \xrightarrow{\text{在沸水中}} K_2SO_4 + 2NH_3\uparrow + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

【$KHC_4H_4O_6$】　$$KHC_4H_4O_6 + KOH = K_2C_4H_4O_6 + H_2O$$

$$KHC_4H_4O_6 + HCl = H_2C_4H_4O_6 + KCl$$

【K^+】　$$2K^+ + Na_3[Co(NO_2)_6]\text{(过量)} \xrightarrow{\text{醋酸酸化}} K_2Na[Co(NO_2)_6]\downarrow + 2Na^+$$

（钴亚硝酸钠）　（亮黄色）

（用来鉴定K^+的反应）

$$K^+ + HC_4H_4O_6^- = KHC_4H_4O_6\downarrow$$

（酒石酸氢根）　（白色）

（$KHC_4H_4O_6$沉淀溶于酸或碱）

【$K_2O\cdot Al_2O_3\cdot 6SiO_2$】　$$K_2O\cdot Al_2O_3\cdot 6SiO_2 + CO_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{风化作用}} K_2CO_3 + 4SiO_2 + Al_2O_3\cdot 2SiO_2\cdot 2H_2O$$

（正长石）　（高岭土）

$$K_2O\cdot Al_2O_3\cdot 6SiO_2 + 2H_2CO_3 + H_2O \xrightarrow[\text{土壤酸的作用}]{\text{水解}} Al_2O_3\cdot 2SiO_2\cdot 2H_2O + 4SiO_2 + 2KHCO_3$$

【$K_2SO_4\cdot Al_2(SO_4)_3\cdot 2Al_2O_3$】

$$K_2SO_4\cdot Al_2(SO_4)_3\cdot 2Al_2O_3\cdot 6H_2O \xrightarrow{575℃} K_2SO_4\cdot Al_2(SO_4)_3\cdot 2Al_2O_3 + 6H_2O\uparrow$$

（明矾石）　（熟明矾石）

$$2[K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2Al_2O_3] + 3(CO + H_2) \xlongequal{560℃} 3(CO_2 + H_2O) + 2K_2SO_4 + 6Al_2O_3 + 6SO_2\uparrow$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2Al_2O_3 + 6(NH_3 + H_2O) \xlongequal{75℃} K_2SO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 2Al(OH)_3 + 2Al_2O_3$$

【$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$】

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3 \xlongequal{600—700℃} K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2Al_2O_3 + 6H_2O$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2Al_2O_3 + 3Ca(OH)_2 \xlongequal{\triangle} 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3 + 2Al_2O_3 + K_2SO_4$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3 \xlongequal{煅烧} K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 + 2Al_2O_3 + 6H_2O$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3 + 6NaCl \xlongequal{600—700℃} K_2SO_4 + 3Na_2SO_4 + 3Al_2O_3 + 6HCl\uparrow + 3H_2O$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3 + 3MgCl_2 \xlongequal{600—700℃} K_2SO_4 + 3MgSO_4 + 3Al_2O_3 + 6HCl\uparrow + 3H_2O$$

【其他含钾的化合物】

$$KCl + \underset{(四苯硼钠)}{NaB(C_6H_5)_4} = \underset{(白色)}{KB(C_6H_5)_4\downarrow} + NaCl$$

（检验K^+的反应）

$$KB(C_6H_5)_4 + 30O_2 \xlongequal{\triangle} KBO_2 + 24CO_2 + 10H_2O$$

$$K_2S_2 + 2HCl = 2KCl + H_2S\uparrow + S\downarrow$$

$$4KFe_2(CN)_6 + 16H_2SO_4 + O_2 \xlongequal{共煮} 4KHSO_4 + 4Fe_2(SO_4)_3 + 24HCN + 2H_2O$$

$$KNH_2 + AgNO_3 \xlongequal{NH_3溶液中} AgNH_2\downarrow + KNO_3$$

$$2[K_2SO_4 \cdot MgSO_4]_{(固)} + C \xlongequal{\triangle} 2K_2SO_4 + 2MgO + 2SO_2\uparrow + CO_2\uparrow$$

$$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O + 2KCl = 2K_2SO_4 + MgCl_2 \cdot 6H_2O$$

$$2K_2C_2O_4 + FeC_2O_4 = [Fe(C_2O_4)_3]^{4-} + 4K^+$$

$$2KAlSi_3O_8 + 6CaCO_3 + 2NH_4Cl \xlongequal{强热} 6CaSiO_3 + Al_2O_3 + 2KCl + 6CO_2\uparrow + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 + 6NH_4OH = K_2SO_4 + 3(NH_4)_2SO_4 + 2Al(OH)_3$$

15.4 铷 $5s^1$ Rb＝85.4678

【Rb】 $$2Rb + H_2 \xlongequal{\triangle} 2RbH$$

$$2Rb + X_2 = 2RbX$$

（与I_2反应需加热）

$$2Rb + O_2 \xlongequal{燃烧} Rb_2O_2$$

$$Rb + O_{2(过量)} \xlongequal{燃烧} RbO_2$$

$$4Rb + O_2 + 2CO_2 = 2Rb_2CO_3$$

$$2Rb + S \xlongequal{燃烧} Rb_2S$$

（反应很剧烈）

$$3Rb + P = Rb_3P$$

$$2Rb + 2NH_{3(气)} \xlongequal[加热]{Fe或FeCl_3催化} 2RbNH_2 + H_2\uparrow$$

（与液态NH_3作用无H_2放出）

$$2Rb + 2H_2O = 2RbOH + H_2\uparrow$$
（爆炸性的反应）

$$2Rb + 2H^+\text{（无氧化性的酸）} = 2Rb^+ + H_2\uparrow$$

$$2Rb + 2C_6H_6 \xlongequal{70℃} 2C_6H_5Rb\downarrow + H_2\uparrow$$

【RbH】 $RbH + NH_3 = RbNH_2 + H_2\uparrow$

$$RbH + H_2O = RbOH + H_2\uparrow$$

【Rb_2O】 $Rb_2O + H_2 = RbOH + RbH$

$$Rb_2O + NH_3\text{（液体氨）} = RbNH_2 + RbOH$$

$$Rb_2O + H_2O = 2RbOH$$
（反应剧烈，能燃烧）

【Rb_2O_2】 $2Rb_2O_2 + 2H_2O = 4RbOH + O_2\uparrow$

【Rb_2O_4】 $Rb_2O_4 + 2H_2O = 2RbOH + H_2O_2 + O_2\uparrow$

【RbO_2】 $4RbO_2 + 2H_2O = 4RbOH + 3O_2\uparrow$

$$4RbO_2 + 2CO_2 = 2Rb_2CO_3 + 3O_2\uparrow$$

$$2RbO_2 + H_2SO_4 = Rb_2SO_4 + H_2O_2 + O_2\uparrow$$

【RbO_3】 $2RbO_3 = 2RbO_2 + O_2\uparrow$

【RbOH】 RbOH的化学性质与KOH相似。

$$2RbOH + 2Mg \xlongequal[\text{加热}]{\text{在}H_2\text{气流中}} 2MgO + 2Rb + H_2\uparrow$$

【RbF】 $2RbF + H_2SO_4 \xlongequal{\text{加热共蒸发}} Rb_2SO_4 + 2HF$

【RbCl】 $2RbCl + Mg \xlongequal[700°-800℃]{\text{在真空中加热}} MgCl_2 + 2Rb\uparrow$
（工业上制取Rb）

$$RbCl + I_2O_5 + H_2O = RbIO_3\cdot HIO_3\downarrow + HCl$$
（无色结晶）

$$2RbCl + ZnCl_2 = ZnCl_2\cdot 2RbCl\downarrow$$
（浓盐酸液）（浓盐酸液）

$$6RbCl + FeCl_3 = FeCl_3 \cdot 6RbCl$$
（浓盐酸溶液）
（反应后将溶液蒸发可得结晶）

$$2RbCl + NiCl_2 = NiCl_2 \cdot 2RbCl\downarrow$$
（浓盐酸液）（浓盐酸液）

$$2RbCl + MnCl_2 = MnCl_2 \cdot 2RbCl\downarrow$$
（浓盐酸液）（浓盐酸液）

$$RbCl + 2SbCl_3 + H_2O = RbCl \cdot (SbCl_3)_2 \cdot H_2O\downarrow$$

$$RbCl + SbCl_3 = RbCl \cdot SbCl_3$$

$$3RbCl + 2SbCl_3 = (RbCl)_3 \cdot 2SbCl_3\downarrow$$

$$2RbCl + CuCl_2 = CuCl_2 \cdot 2RbCl\downarrow$$
（浓盐酸液）（浓盐酸液）　　（红色）

$$2RbCl + HgCl_2 = HgCl_2 \cdot 2RbCl$$
（浓盐酸液）
（反应后将溶液蒸发可得结晶）

$$2RbCl + H_2PtCl_6 = Rb_2PtCl_6\downarrow + 2HCl$$
（黄色）

$$RbCl_{(浓)} + H_2C_4H_4O_6 = RbHC_4H_4O_6\downarrow + HCl$$

【$RbIO_3$】 $$RbIO_3 + I_2O_5 + H_2O \xlongequal{浓缩} RbIO_3 \cdot (HIO_3)_2\downarrow$$

【Rb_2SO_4】 $$Rb_2SO_4 + Ba(NO_3)_2 = 2RbNO_3 + BaSO_4\downarrow$$

$$Rb_2SO_4 + 2FeSO_4 + H_2SO_4 + 24H_2O \xlongequal{铂电极间电解} 2RbFe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O + H_2\uparrow$$

【$RbNO_3$】 $$2RbNO_3 \xlongequal{强热} 2RbNO_2 + O_2\uparrow$$

$$RbNO_3 + HClO_{4(过量)} \xlongequal{蒸发} RbClO_4 + HNO_3$$
（结晶）

$$RbNO_3 + 2HNO_3 = RbNO_3 \cdot 2HNO_3$$
（比重1.5）
（反应后，进行冰冻得结晶体）

【Rb_2CO_3】 $Rb_2CO_3 + Mg \xrightarrow[\text{加高温}]{\text{在}H_2\text{气流中}} MgO + CO_2\uparrow + 2Rb$

$Rb_2CO_3 + I_2O_5 = 2RbIO_3\downarrow + CO_2\uparrow$

$Rb_2CO_3 + H_2SO_4 = Rb_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$

$Rb_2CO_3 + H_2SeO_4 \xrightarrow{\text{煮沸}} Rb_2SeO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$

$Rb_2CO_3 + 2H_2TeO_4 = (RbHTeO_4)_2\cdot H_2O + CO_2\uparrow$

【Rb_2WO_4】 $12Rb_2WO_4 + 14HCl + H_2O \xrightarrow[\text{达中和点后冷却}]{\text{加热至沸}}$

$14RbCl + (Rb_2O)_5\cdot(WO_3)_{12}\cdot 8H_2O\downarrow$
(结晶)

15.5 铯 $6s^1$ Cs = 132.9055

【Cs】 $2Cs + H_2 \xrightarrow{\triangle} 2CsH$

$2Cs + X_2 = 2CsX$
(X代表卤素元素)

$4Cs + O_2 + 2CO_2 = 2Cs_2CO_3$

$2Cs + O_2 \xrightarrow{\text{燃烧}} Cs_2O_2$

$Cs + O_{2(\text{过量})} \xrightarrow{\text{燃烧}} CsO_2$

$2Cs + S \xrightarrow{\text{燃烧}} Cs_2S$
(反应剧烈)

$3Cs + P = Cs_3P$

$2Cs + 5P \xrightarrow{\text{在真空中}} Cs_2P_5$

$2Cs + 2NH_3 \xrightarrow{\text{Fe或}FeCl_3\text{催化}} 2CsNH_2 + H_2\uparrow$

$2Cs + 2H_2O = 2CsOH + H_2\uparrow$
(发生爆炸性的反应)

$$Cs + CO = CsCO$$

$$2Cs + 2H^+ = 2Cs^+ + H_2\uparrow$$

（在无氧化性能酸的作用下）

$$2Cs + C_2H_4 = C_2H_4Cs_2$$

$$C_2H_4Cs_2 + 2H_2O = C_2H_6 + 2CsOH$$

$$2Cs + 2C_6H_6 = 2C_6H_5Cs\downarrow + H_2\uparrow$$

【Cs_2O】 $Cs_2O + H_2 = CsOH + CsH$

$$Cs_2O + H_2O = 2CsCOH$$

（反应剧烈）

$$Cs_2O_{(\text{无水乙醇溶液})} + 6H_3BO_{3(\text{过量})} \xrightarrow{\text{蒸发}} Cs_2B_8O_{10}\downarrow + 9H_2O$$

（醇熔液）

【Cs_2O_2】 $2Cs_2O_2 + 2H_2O = 4CsOH + O_2\uparrow$

$$Cs_2O_2 + 2H_2O = 2CsOH + H_2O_2$$

$$Cs_2O_2 + H_2SO_{4(\text{稀})} = Cs_2SO_4 + H_2O_2$$

$$H_2O_2 \rightarrow H_2O + [O]$$

【CsO_2】 $2CsO_2 + 2H_2O = 2CsOH + H_2O_2 + O_2\uparrow$

【CsO_3】 $2CsO_3 = 2CsO_2 + O_2\uparrow$

【CsOH】 $2CsOH + 2Mg \xrightarrow[\text{加热}]{\text{在}H_2\text{气流中}} 2MgO + H_2\uparrow + 2Cs$

（用Ca代Mg亦可有类似的反应）

$$6CsOH + 4Fe \xrightarrow{\text{高温}} 2Fe_2O_3 + 3H_2\uparrow + 6Cs$$

$$4CsOH_{(\text{固})} + 6NO \xrightarrow{\triangle} 4CsNO_2 + N_2\uparrow + 2H_2O$$

$$2CsOH + CrO_3 = Cs_2CrO_4 + H_2O$$

$$Cs_2CrO_4 + MgCrO_4 + 6H_2O = Cs_2Mg(CrO_4)_2\cdot 6H_2O\downarrow$$

（结晶）

$$2CsOH + H_2S + 2H_2O \xlongequal{再用醇处理} Cs_2S \cdot 4H_2O\downarrow$$

$$CsOH + HCN = CsCN + H_2O$$

$$CsOH + HBrO_3 \xlongequal{蒸发} CsBrO_3\downarrow + H_2O$$

（结晶）

$$CsOH_{(热液)} + H_3BO_3 + H_2O_{2(过量)} = CsBO_3 \cdot H_2O\downarrow + 2H_2O$$

（冷却加入过氧化氢，放置一夜，加入大量96%的乙醇）

【CsCl】 $CsCl + Br_2 = CsCl \cdot Br_2\downarrow$

$$2CsCl + Br_2 + Cl_2 = 2CsCl_2Br\downarrow$$

$$2CsCl + I_2 + Cl_2 = 2CsCl_2I\downarrow$$

（二氯碘化铯，黄色结晶）

$$2CsCl + 3I_2 + Cl_2 = 2CsCl_2I_3$$

（黄色结晶）

$$2CsCl + I_2 + Br_2 = 2CsClBrI$$

（黄色结晶）

$$2CsCl + Ca \xlongequal{高温} CaCl_2 + 2Cs$$

$$2CsCl + Mg \xlongequal[700^\circ—800℃]{在真空中加热} MgCl_2 + 2Cs\uparrow$$

（工业上制取Cs）

$$2CsCl + Ag_2O + H_2O = 2CsOH + 2AgCl$$

（AgCl比Ag_2O更难溶）

$$CsCl + HClO_{4(过量)} \xlongequal{共蒸发} CsClO_4\downarrow + HCl$$

（结晶）

$$CsCl + H_2SO_{4(过量)} = CsHSO_4 + HCl$$

$$CsHSO_4 + Ba(OH)_{2(饱和液)} = CsOH + BaSO_4\downarrow + H_2O$$

$$3CsCl + ZnCl_2 = Cs_3ZnCl_5\downarrow$$

$$6CsCl + FeCl_3 = FeCl_3 \cdot 6CsCl\downarrow$$
（在浓盐酸中）（在浓盐酸中）（橙红色结晶）

$$2CsCl_{(浓)} + CdCl_2 = Cs_2CdCl_4\downarrow$$

$$2CsCl + NiCl_2 = NiCl_2 \cdot 2CsCl\downarrow$$
（浓盐酸液）（浓盐酸液）（黄色）

$$2CsCl + CuCl_2 + 2H_2O = Cs_2CuCl_4 \cdot 2H_2O\downarrow$$

$$2CsCl + CuCl_2 = Cs_2CuCl_4\downarrow$$

$$CsCl + CuCl_2 = CsCuCl_3\downarrow$$

$$3CsCl + 2CuCl_2 + 2H_2O = Cs_3Cu_2Cl_7 \cdot 2H_2O\downarrow$$

$$CsCl + HgCl_{2(少量)} \xlongequal{冷却} CsHgCl_3\downarrow$$
（无色结晶）

$$CsHg_3Cl_3 + HgCl_2 \xlongequal[再冷却]{溶于热水中} CsHg_2Cl_5\downarrow$$

$$CsCl + KBr \xrightleftharpoons{477℃} CsBr + KCl$$

$$2CsCl + H_2PtCl_6 = Cs_2PtCl_6 + 2HCl$$
（黄色结晶）

$$2CsCl + H_2C_4H_4O_6 = Cs_2C_4H_4O_6\downarrow + 2HCl$$

【CsBr】

$$CsBr + Br_2 = CsBr_3$$

$$CsBr_{(浓)} + 2Br_2 = CsBr_5\downarrow$$
（红色）

$$2CsBr + I_2 + Br_2 = 2CsBr_2I\downarrow$$
（红色结晶）

$$2CsBr_{(热)} + HgBr_2 = Cs_2HgBr_4\downarrow$$
（白色）
（反应冷却后结晶）

$$2CsBr + CuBr_2 = Cs_2CuBr_4\downarrow$$

$$CsBr + CuBr_2 = CsCuBr_3\downarrow$$

$$CsBr + HgI_2 = CsHgBrI_2\downarrow$$

$$2CsBr + HgI_2 = Cs_2HgBr_2I_2\downarrow$$

$$3CsBr + HgI_2 = Cs_3HgBr_3I_2\downarrow$$
（黄色结晶）

【CsI】 $CsI_{(干燥粉)} + Br_2 = CsIBr_2$

$$CsIBr_2 \xlongequal{\triangle} CsBr + IBr$$

【Cs_2SO_4】 $Cs_2SO_4 + Ba(OH)_2 = 2CsOH + BaSO_4\downarrow$

$$Cs_2SO_{4(冷液)} + H_2SO_4 \xlongequal{电解} Cs_2S_2O_8\downarrow + H_2\uparrow$$

$$Cs_2SO_{4(热液)} + SnCl_4 + 2HCl = Cs_2SnCl_6\downarrow + H_2SO_4$$

$$Cs_2SO_4 + BaBr_2 = BaSO_4\downarrow + 2CsBr$$

$$Cs_2SO_4 + BaS_2O_6 \xlongequal{60℃下混合} Cs_2S_2O_6 + BaSO_4\downarrow$$

$$Ca_2SO_4 + Ba(NO_2)_2 = 2CsNO_2 + BaSO_4\downarrow$$

【$CsNO_3$】 $2CsNO_3 \xlongequal{强热} 2CsNO_2 + O_2\uparrow$

$$2CsNO_3 + SiO_2 \xlongequal{\triangle} Cs_2SiO_3 + N_2O_5\uparrow$$

$$CsNO_3 + HNO_{3(比重1.42)} \xlongequal{徐徐加热} CsNO_3\cdot HNO_3$$

$$CsNO_3 + Fe(NO_3)_3 + 7H_2O = CsNO_3\cdot Fe(NO_3)_3\cdot 7H_2O$$
（黄色结晶）

$$CsNO_3 + Bi(NO_3)_3 \xlongequal{共蒸发} CsNO_3\cdot Bi(NO_3)_3$$
（无色柱体结晶）

$$CsNO_3 + KMnO_{4(饱和溶液)} \xlongequal{60℃} CsMnO_4\downarrow + KNO_3$$

【Cs_2CO_3】 $Cs_2CO_3 \xlongequal[灼烧]{\triangle} Cs_2O + CO_2\uparrow$

$$Cs_2CO_3 + 2H_2O_{2(30\%)} \xlongequal{低温下} Cs_2CO_3\cdot 2H_2O_2\downarrow$$

$$Cs_2CO_3 + H_2O + CO_2 = 2CsHCO_3\downarrow$$

$$Cs_2CO_{3(\text{热、乙醇溶液})} + 2SO_2 + H_2O = 2CsHSO_3\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$2Cs_2CO_3 + 2SO_2 + 2Cs_2HPO_4 \xlongequal{\text{燃烧}} Cs_4P_2O_7 + 2Cs_2SO_3 + 2CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_3 + 2HF \xlongequal{\text{浓缩}} 2CsF + H_2CO_3$$

$$Cs_2CO_3 + 6HF_{(40\%\text{溶液})} + SnCl_4 = Cs_2SnF_6 + 4HCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_3 + 2HBr \xlongequal{\text{蒸发}} \underset{(\text{结晶})}{2CsBr\downarrow}\ CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_3 + 2HI = \underset{(\text{结晶})}{2CsI\downarrow} + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_3 + 2HClO_4 = \underset{(\text{柱状结晶})}{2CsClO_4} + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_{3(\text{过量})} + 2HIO_3 = 2CsIO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_{3(\text{过量})} + 2HIO_4 = 2CsIO_4\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_3 + 2H_2SO_{4(\text{过量})} \xlongequal{\text{灼热}} 2CsHSO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$3Cs_2CO_3 + 2H_3PO_4 + 7H_2O \xlongequal{\text{在浓硫酸上蒸发}} 2[Cs_3PO_4\cdot 5H_2O]\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

$$Cs_2CO_3 + H_3PO_4 \xlongequal{\text{在浓硫酸上蒸发}} Cs_2HPO_4\cdot H_2O\downarrow + CO_2\uparrow$$

$$Cs_2CO_3 + 2H_3PO_4 \xlongequal{\text{在浓硫酸上蒸发}} 2CsH_2PO_4\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$Cs_2CO_3 + 2H_2C_4H_4O_6 \xlongequal{\text{蒸发}} \underset{(\text{结晶})}{2CsHC_4H_4O_6\downarrow} + CO_2\uparrow + H_2O$$

第十六章　碱土金属

16.1　铍　$2s^2$　Be = 9.0122

[Be]

$$Be + X_2 \xlongequal{} BeX_2$$

$$(X_2 \xlongequal{} F_2、Cl_2、Br_2、I_2)$$

$$Be + Br_2\text{（蒸气）} \xlongequal{\text{微热}} BeBr_2$$

$$Be + I_2 \xlongequal{\triangle} BeI_2$$

$$2Be + O_2 \xlongequal{} 2BeO$$

（不能生成BeO_2）

$$Be + S \xlongequal[\text{加热至1300℃}]{\text{在真空中}} BeS$$

$$3Be + N_2 \xlongequal[900℃]{\text{燃烧}} Be_3N_2$$

$$Be_3N_2 + 6H_2O \xlongequal{} 3Be(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

$$2Be + C \xlongequal{\text{在电炉内反应}} Be_2C$$

$$3Be + 2NH_3 \xlongequal{1000℃} Be_3N_2 + 3H_2\uparrow$$

$$Be + H_2O\text{（高温气）} \xlongequal{} BeO + H_2\uparrow$$

$$Be + 2KOH \xlongequal{} K_2BeO_2 + H_2\uparrow$$

（铍酸钾）

$$Be + 2HCl\text{（干燥气）} \xlongequal{} BeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Be + 4NH_4Cl \xlongequal[\text{在液氨中}]{-40℃} BeCl_2\cdot 4NH_3 + 2HCl + H_2$$

$$BeCl_2 \cdot 4NH_3 \xlongequal[200-250℃]{在真空中加热} BeCl_2 \cdot 2NH_3 + 2NH_3\uparrow$$

$$3Be + 4NH_4Br + 6NH_3\text{（液态）} = (BeBr_2)_2 \cdot Be(NH_2)_2 \cdot 8NH_3 + 3H_2\uparrow$$

$$Be_{(粉)} + C_2H_2 \xlongequal{450℃} BeC_2 + H_2\uparrow$$

【BeO】

$$2BeO + 3C \xlongequal{在电炉内灼烧} Be_2C + 2CO\uparrow$$

$$4Be_2C + 16H_2O = 8Be(OH)_2 + 4CH_4\uparrow$$

$$BeO + C + Cl_2 \xlongequal{600℃} BeCl_2 + CO\uparrow$$

$$BeO + 2HF_{(气)} \xlongequal{\triangle} BeF_2 + H_2O$$

$$BeO + 2HCl = BeCl_2 + H_2O$$

$$2BeO + H_2SO_3 + 2H_2O \xlongequal{蒸发} \underset{（糖浆状）}{BeSO_3 \cdot BeO} + 3H_2O$$

$$BeO + H_2SO_4 = BeSO_4 + H_2O$$

$$BeSO_4 + 4H_2O \xlongequal{蒸发} BeSO_4 \cdot 4H_2O$$

$$BeO + 2HPO_3\text{（过量）} \xlongequal{熔融} Be(PO_3)_2 + H_2O$$

$$BeO + H_3PO_4 + 2H_2O \xlongequal{加入乙醇} \underset{（颗粒状）}{BeHPO_4 \cdot 3H_2O}\downarrow$$

$$BeO + COCl_2 = BeCl_2 + CO_2\uparrow$$

$$2BeO + CCl_4 = 2BeCl_2 + CO_2\uparrow$$

【$Be(OH)_2$】

$$4Be(OH)_2 + CO_2 = BeCO_3 \cdot 3Be(OH)_2 + H_2O$$

$$Be(OH)_2 + CO_2 = BeCO_3 + H_2O$$

$$Be(OH)_2 + SO_2 \xlongequal{在无水乙醇中} BeSO_3 + H_2O$$

$$Be(OH)_2 + 2NaOH_{(过量)} \rightleftharpoons Na_2BeO_2 + 2H_2O$$

（加KOH有类似的反应）

$$Be(OH)_2 + NaOH = NaHBeO_2 + H_2O$$

$$Be(OH)_2 + 2HCl = BeCl_2 + 2H_2O$$

$$Be(OH)_2 + 2HIO_3 = Be(IO_3)_2 + 2H_2O$$

$$2Be(OH)_2 + H_2SO_3 = BeSO_3 \cdot BeO + 3H_2O$$

$$Be(OH)_2 + H_2SO_4 + 2H_2O = BeSO_4 \cdot 4H_2O$$

$$Be(OH)_2 + 2HNO_3 + 2H_2O = Be(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$$

$$Be(OH)_2 + 2H^+ = Be^{2+} + 2H_2O$$

$$4Be(OH)_2 + 6CH_3COOH = Be_4O(CH_3COO)_6 + 7H_2O$$

$$Be(OH)_2 + H_2C_2O_4 + H_2O \xlongequal{煮沸} BeC_2O_4 \cdot 3H_2O\downarrow$$

$$2Be(OH)_2 + 3KHSO_3 + 6H_2O \xlongequal{温热} K_2SO_3 \cdot (BeSO_3)_2 \cdot 9H_2O + KOH$$

$$Be(OH)_2 + BeSO_4 + 2H_2O \xlongequal{\triangle} BeSO_4 \cdot Be(OH)_2 \cdot 2H_2O$$

（蒸发后得结晶）

$$Be(OH)_2 + 2NaHCO_3 \xlongequal{53℃} Be(OH)_2 \cdot 2NaHCO_3$$

$$2[Be(OH)_2 \cdot 2NaHCO_3] \xlongequal{53℃} Be(OH)_2 + H_2CO_3 + NaHCO_3 + Be(OH)_2 \cdot NaHCO_3 \cdot Na_2CO_3$$

$$Be(OH)_2 + (NH_4)_2CO_3 + 4HF \xlongequal[再冷却]{浓缩} (NH_4)_2BeF_4\downarrow + CO_2 + 3H_2O$$

$$Be(OH)_2 + 2(NH_4)_2CO_3 = (NH_4)_2[Be(CO_3)_2] + 2NH_4OH$$

$$Be(OH)_2 + 2KHC_2O_4(饱和) = K_2O \cdot BeO \cdot (C_2O_3)_2 \cdot H_2O\downarrow + H_2O$$

（无色结晶）

$$Be(OH)_2 + 2NaHC_2O_4 = Na_2O \cdot BeO \cdot (C_2O_3)_2 \cdot H_2O\downarrow + H_2O$$
（无色结晶）

$$Be(OH)_2 + 2NH_4HC_2O_4 = (NH_4)_2O \cdot BeO \cdot 2C_2O_3\downarrow + 2H_2O$$
（无色结晶）

$$4Be(OH)_2 + 4[K_2O \cdot C_2O_3] + 3H_2O \xlongequal{100℃} (K_2O)_2 \cdot (BeO)_4 \cdot (C_2O_3)_4 \cdot 5H_2O\downarrow + 4KOH$$
（无色结晶）

$$2Be(OH)_2 + 2[Na_2O \cdot C_2O_3] + 5H_2O \xlongequal{100℃} 4NaOH + (BeO)_2 \cdot (C_2O_3)_2 \cdot 5H_2O\downarrow$$

$$4Be(OH)_2 + 4[(NH_4)_2O \cdot C_2O_3] + 3H_2O \xlongequal{100℃} 4NH_4OH + [(NH_4)_2O]_2 \cdot (BeO)_4 \cdot (C_2O_3)_4 \cdot 5H_2O$$

【$BeCl_2$】

$$BeCl_2 + 2H_2O \xlongequal{水解} Be(OH)_2\downarrow + 2HCl$$

$$BeCl_2 + 2NH_3 \xlongequal[加热至200℃]{在封闭管内} BeCl_2 \cdot 2NH_3\downarrow$$

$$BeCl_2 + 2NH_4OH = Be(OH)_2\downarrow + 2NH_4Cl$$

$$BeCl_2 + SnCl_4 + 8H_2O \xlongequal{蒸发} BeCl_2 \cdot SnCl_4 \cdot 8H_2O$$

$$2BeCl_2 + 3HgCl_2 + 6H_2O \xlongequal{蒸发至糖浆状} (HgCl_2)_3 \cdot (BeCl_2)_2 \cdot 6H_2O$$

$$BeCl_2 + Na_2HPO_4 + 3H_2O = BeHPO_4 \cdot 3H_2O + 2NaCl$$

（浓缩后得结晶）

【$BeBr_2$】

$$2BeBr_2 + O_2 \xlongequal[加热]{在潮湿空气中} 2BeO + 2Br_2$$

$$BeBr_2 + H_2O = BeO + 2HBr$$

【$BeSO_4$】 $BeSO_4 + 2NH_3$(干气) $\xlongequal{-21\text{—}-17℃} BeSO_4 \cdot 2NH_3$

$BeSO_4 + 2NH_4OH$(微过量) $= BeO \cdot H_2O\downarrow + (NH_4)_2SO_4$

$BeSO_4 + Ba(ClO_4)_2 + 4H_2O \xlongequal{过滤蒸发} Be(ClO_4)_2 \cdot 4H_2O + BaSO_4\downarrow$

$BeSO_4 + K_2SO_4 + 5H_2O \xlongequal{蒸发} BeSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 5H_2O$

$BeSO_4$(浓) $+ 2K_2SO_4$(浓) $+ H_2SO_4 + 4H_2O = BeSO_4 \cdot (K_2SO_4)_2 \cdot H_2SO_4 \cdot 4H_2O$

$3BeSO_4 + 2Na_2SO_4 + 12H_2O \xlongequal{浓缩至糖浆状} (BeSO_4)_3 \cdot (Na_2SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
(针状结晶)

$BeSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2H_2O \xlongequal[至糖浆状]{蒸发浓缩} BeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 2H_2O$

$BeSO_4 + Ba(NO_3)_2 = Be(NO_3)_2 + BaSO_4\downarrow$
(白色)

$BeSO_4 + Ba(NO_3)_2 + 3H_2O \xlongequal[蒸发]{过滤} Be(NO_3)_2 \cdot 3H_2O + BaSO_4\downarrow$

$28BeSO_4 + 2K_2CrO_4 + 46H_2O = 2K_2SO_4 + 26SO_2 + 13O_2\uparrow + 2[BeCrO_4 \cdot (BeO)_{13} \cdot 23H_2O]$
(灰黄色)

$BeSO_4 + 2CH_3COCH_2COCH_3 = Be(C_5H_7O_2)_2 + H_2SO_4$

【$Be(NO_3)_2$】 $2Be(NO_3)_2 \xlongequal{高温} 2BeO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$

$Be(NO_3)_2 + KHCO_3 = BeCO_3\downarrow + KNO_3 + HNO_3$

$BeCO_3 + H_2O = Be(OH)_2 + CO_2\uparrow$

$$Be(NO_3)_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{} BeCO_3\downarrow + 2NaNO_3$$

$$3[Be(NO_3)_2\cdot 3H_2O] + 2Na_2HPO_4 \xlongequal{\text{醋酸}} Be_3(PO_4)_2\cdot 6H_2O\downarrow + 4NaNO_3 + 2HNO_3 + 3H_2O$$

$$Be(NO_3)_2 + K_2CrO_4 \xlongequal{} BeCrO_4\downarrow + 2KNO_3$$

$$BeCrO_4 + 2H_2O \xlongequal{\text{水解}} Be(OH)_2 + H_2CrO_4$$

【$BeCO_3$】　$BeCO_3 + CO_{2(\text{过量})} + H_2O \xlongequal{} Be(HCO_3)_2$（可溶）

$$BeCO_3 + 2HCl \xlongequal{} BeCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$BeCO_3 + \underset{(\text{温热})}{H_2CrO_{4(\text{浓})}} + H_2O \xlongequal{\text{蒸发}} BeCrO_4\cdot H_2O + H_2CO_3$$

$$BeCO_3 + 2HCOOH \xlongequal{50-90^\circ C} (HCOO)_2Be + H_2CO_3$$

$$\llcorner H_2O + CO_2\uparrow$$

$$BeCO_3 + 2HC_2H_3O_2 \xlongequal[\text{加热至}140^\circ C]{\text{在封闭管中}} Be(C_2H_3O_2)_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$BeCO_3 + \underset{(\text{酒石酸})}{H_2C_4H_4O_6} + 2H_2O \xlongequal[\text{糖浆状}]{\text{蒸发至}} BeC_4H_4O_6\cdot 3H_2O + CO_2\uparrow$$

$$3BeCO_3 + 2KIO_4 \xlongequal{} Be_3(IO_5)_2 + K_2CO_3 + 2CO_2\uparrow$$

$BeCO_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{} Na_2[Be(CO_3)_2]$（可溶）

【Be_2C】　$3Be_2C + 4NH_{3(\text{气})} \xlongequal{1000^\circ C} 2Be_3N_2 + 3C + 6H_2\uparrow$

$$Be_2C + 4H_2O \xlongequal{} 2Be(OH)_2 + CH_4\uparrow$$

【其他含铍的化合物】

$$Be(NH_4)_2F_4 \xlongequal[\text{加热}]{\text{在}CO_2\text{气流中}} BeF_2 + 2NH_3 + 2HF$$

$$BeHPO_4 + NH_4OH = BeNH_4PO_4\downarrow + H_2O$$

$$Be[Be(OH)_2]_3CO_3 + 4(NH_4)_2SO_4 \xlongequal{煮沸} 4BeSO_4 + CO_2\uparrow + 8NH_3 + 7H_2O$$

$$7[BeCrO_4 \cdot H_2O] + 5H_2O = BeCrO_4 \cdot 6Be(OH)_2 + 6H_2CrO_4$$

$$Be(OH)\cdot(CH_3COO) + 2HNO_3 + 3H_2O = Be(NO_3)_2 \cdot 4H_2O + CH_3COOH$$

$$Be(OH)(CH_3COO) + H_2O = Be(OH)_2 + CH_3COOH$$

$$Be(OH)_2 = BeO + H_2O$$

$$3BeO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 + 6CaO \xlongequal{共熔} 3BeO \cdot Al_2O_3 + 6CaSiO_3$$

$$\underset{(碱式酒石酸铍)}{Be_3(OH)_2C_4O_6H_2} + NaOH = Be_2C_4O_6H_2 \cdot NaOH + Be(OH)_2\downarrow$$

16.2 镁 $3s^2$ Mg = 24.305

【Mg】 $Mg + X_2 = MgX_2$

($X_2 = F_2$、Cl_2、Br_2O与Br_2作用时需加热)

$$2Mg + O_2 \xlongequal{燃烧} 2MgO$$

$$Mg + S \xlongequal{\triangle} MgS$$

(与Se、Te也有类似的作用)

$$3Mg + N_2 \xlongequal[560\,^\circ C]{燃烧} Mg_3N_2$$

$$Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

$$3Mg + 2P \xlongequal{高温} Mg_3P_2$$

（Ca也有类似的反应）

$$Mg + 2C \xlongequal{白热} MgC_2$$

$$MgC_2 + 2H_2O = Mg(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

$$2Mg + Si \xlongequal{550—600℃} Mg_2Si$$

$$Mg + 2H_2O \xlongequal{煮沸} Mg(OH)_2 + H_2\uparrow$$

$$Mg + H_2O_{(气)} \xlongequal{\triangle} MgO + H_2\uparrow$$

$$2Mg + CO_2 \xlongequal{燃烧} 2MgO + C + 198千卡$$

（K、Ca、Zn均有类似的反应）

$$Mg + H_2S_{(溶液)} = MgS + H_2\uparrow$$

$$Mg + 2H^+_{(非氧化性的酸)} = Mg^{2+} + H_2\uparrow$$

（Mg甚至可溶于H_2CO_3）

$$Mg + H_2SO_{4(稀)} = MgSO_4 + H_2\uparrow$$

$$4Mg + 10HNO_{3(很稀)} = 4Mg(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + 5H_2O$$

$$3Mg + 8H^+ + 2NO_3^- = 3Mg^{2+} + 2NO + 4H_2O$$

（用稀HNO_3和Mg的反应）

$$3Mg + 2FeCl_3 + 6H_2O = 3MgCl_2 + 2Fe(OH)_3 + 3H_2\uparrow$$

$$2Mg + TiCl_4 \xlongequal{高温} Ti + 2MgCl_2$$

$$Mg_{(粉)} + C_2H_4 \xlongequal{500℃} MgC_2 + 2H_2\uparrow$$

$$Mg_{(光亮)} + 2CH_3OH_{(无水)} \xlongequal[砂浴上加热]{HgCl_2催化} Mg(OCH_3)_2 + H_2\uparrow$$

$$Mg(OCH_3)_2 + 2H_2O = Mg(OH)_2\downarrow + 2CH_3OH$$

$$6Mg_{(粉)} + C_6H_{12}O_6{}_{(固)} \xlongequal{\triangle} 6MgO + 6C + 6H_2\uparrow$$

（葡萄糖）

（检验Mg的方法之一）

【MgO】 $MgO + C \xlongequal{2000℃以上} CO\uparrow + Mg_{(电热法)}$

$MgO + C + Cl_2 \xlongequal{2300℃} MgCl_2 + CO\uparrow$

$MgO + H_2O = Mg(OH)_2$

$2MgO + 2CaO + Si(Fe) \xlongequal{1600℃} Ca_2SiO_4 + 2Mg$

$MgO + 2HCl = MgCl_2 + H_2O$

$MgO + H_2SO_4 = MgSO_4 + H_2O$

$MgO + 2HNO_3 = Mg(NO_3)_2 + H_2O$

$MgO + MgCl_2 + H_2O = 2Mg(OH)Cl$

$MgO + CaC_2 = Mg + CaO + 2C$

$MgO + SOCl_2 \xlongequal{150—200℃} MgCl_2 + SO_2$

【$Mg(OH)_2$】 $Mg(OH)_2 \xlongequal{\triangle} MgO + H_2O$

$Mg(OH)_2 + CO_2 = MgCO_3 + H_2O$

$Mg(OH)_2 + 2H^+ = Mg^{2+} + 2H_2O$

$Mg(OH)_2 + 2H_2CO_3 = Mg(HCO_3)_2 + 2H_2O$

$Mg(OH)_2 + 2NH_4Cl \rightleftharpoons MgCl_2 + 2NH_4OH$

$Mg(OH)_2 + CaCl_2 + CO_2 = MgCl_2 + CaCO_3 + H_2O$

【MgF_2】 $MgF_2 + NaF = NaF \cdot MgF_2$

【$MgCl_2$】 $MgCl_{2(熔化)} \xlongequal{电解} Mg + Cl_2\uparrow$

$MgCl_2 \cdot 6H_2O \xlongequal{大于135℃} Mg(OH)Cl + HCl\uparrow + 5H_2O\uparrow$

$MgCl_2 \cdot 6H_2O \xlongequal{大于527℃} MgO + 2HCl\uparrow + 5H_2O\uparrow$

$MgCl_2 \cdot 6H_2O \xlongequal[加热]{在HCl气流中} MgCl_2 + 6H_2O$

$$MgCl_2 + H_2O \rightleftharpoons Mg(OH)Cl\downarrow + HCl$$
（将溶液蒸干得沉淀物）

$$2MgCl_2 + H_2O \xlongequal{\text{加热}106℃} Mg_2OCl_2\downarrow + 2HCl$$

$$MgCl_2(30\%) + MgO + H_2O \xlongequal{800℃} 2Mg(OH)Cl$$
（镁氧水泥）

$$MgCl_2 + 2KOH = Mg(OH)_2\downarrow + 2KCl$$
（白色胶状）

$$MgCl_2 + H_3PO_4 + 3NH_4OH = MgNH_4PO_4\downarrow + 2NH_4Cl + 3H_2O$$
（白色）

$$MgCl_2 + 2H_2C_2O_4 + 2NH_4OH = Mg(C_2O_4)_2 + 2NH_4Cl + 2H^+ + 2H_2O$$

$$MgCl_2 + Na_2HPO_4 + NH_4OH = MgNH_4PO_4\downarrow + 2NaCl + H_2O$$
（白色）

$$2MgNH_4PO_4 \xlongequal{\text{灼烧}} Mg_2P_2O_7 + 2NH_3 + H_2O$$
（镁盐的检验方法之一）

$$MgCl_2 + Na_2HPO_4 + NH_3 + 6H_2O = MgNH_4PO_4\cdot 6H_2O\downarrow + 2NaCl$$
（白色）

$$MgCl_2 + Na_2NH_4PO_4 = MgNH_4PO_4\downarrow + 2NaCl$$
（白色）

$$MgCl_2 + NaNH_4HPO_4 + 6H_2O = MgNH_4PO_4\cdot 6H_2O\downarrow + NaCl + HCl$$

$$MgCl_2 + Na_2HAsO_4 + NH_4OH = MgNH_4AsO_4\downarrow + 2NaCl + H_2O$$

$$2MgCl_2 + 2(NH_4)_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons Mg(OH)_2\cdot MgCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + 4NH_4Cl$$

$$2MgCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O = Mg(OH)_2 \cdot MgCO_3 \downarrow + 4NaCl + CO_2 \uparrow$$

$$MgCl_2 + \underset{\text{(羟基喹啉)}}{2H(C_9H_6OH)} + 2H_2O = Mg(C_9H_6OH)_2 \cdot 2H_2O + 2HCl$$

【Mg(OH)Cl】 $$Mg(OH)Cl \xlongequal{\triangle} MgO + HCl$$

$$Mg(OH)Cl + HCl = MgCl_2 + H_2O$$

【Mg_3N_2】 $$Mg_3N_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 \downarrow + 2NH_3 \uparrow$$

$$Mg_3N_2 + 8HCl = 3MgCl_2 + 2NH_4Cl$$

【$MgSiF_6$】 $$MgSiF_6 + 2H_2O = Mg(OH)_2 \downarrow + H_2SiF_6$$

$$MgSiF_6 + 4NaOH \xlongequal{\triangle} 4NaF + SiO_2 + MgF_2 + 2H_2O$$

$$MgSiF_6 + H_2SO_{4(\text{热})} = MgSO_4 + SiF_4 + 2HF$$

【$MgSO_4$】 $$MgSO_4 + C + 61\,\text{千卡} \xlongequal{\text{灼烧}} CO + SO_2 \uparrow + MgO$$

$$MgSO_4 + H_2O \xlongequal{30℃} MgSO_4 \cdot H_2O$$

（生成物在常温时稳定）

$$MgSO_4 + 2NH_3 + 2H_2O \rightleftharpoons Mg(OH)_2 \downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$MgSO_4 + 2NaOH = Mg(OH)_2 \downarrow + Na_2SO_4$$

$$MgSO_{4\,(\text{无水})} + 2HCl_{(\text{干燥})} \xlongequal{\text{红热}} MgCl_2 + H_2SO_4$$

$$2MgSO_4 \cdot 7H_2O + 2NaCl \xlongequal{31℃} Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O + MgCl_2 \cdot 6H_2O + 4H_2O$$

$$MgSO_4 \cdot 7H_2O + Na_2SO_4 \cdot 10H_2O \xlongequal{20.7—20.9℃} Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O + 13H_2O$$

$$MgSO_4 + K_2SO_4 + 4H_2O \xlongequal{30℃} K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O\downarrow$$

（生成物在常温时稳定）

$$2MgSO_4 + K_2SO_4 \xlongequal{30℃} K_2SO_4 \cdot MgSO_4\downarrow$$

（生成物在100℃以上不稳定）

$$3MgSO_{4(\text{过量})} + 2Na_3PO_4 \xlongequal{} Mg_3(PO_4)_2\downarrow + 3Na_2SO_4$$

$$MgSO_4 + Na_2HPO_4 + NH_4OH \xlongequal{} MgNH_4PO_4\downarrow + Na_2SO_4 + H_2O$$

$$MgSO_4 + 2NaHCO_3 \xlongequal{\triangle} MgCO_3\downarrow + Na_2SO_4 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$MgSO_4 + 2NaHCO_3 \xlongequal{} Mg(HCO_3)_2 + Na_2SO_4$$

$$2MgSO_4 + 2Na_2CO_3 + H_2O \xlongequal{} Mg(OH)_2 \cdot MgCO_3\downarrow + 2Na_2SO_4 + CO_2\uparrow$$

$$Mg(OH)_2 \cdot MgCO_3 + 4H^+ \xlongequal{} 2Mg^{2+} + CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \xlongequal{} CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$MgSO_4 + Na_2CO_3 + CaO \xlongequal{\triangle} MgO + CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

【$Mg(NO_3)_2$】　$$2Mg(NO_3)_2 \xlongequal{\triangle} 3MgO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

$$Mg(NO_3)_2 + Na_2CO_3 \xlongequal{} MgCO_3\downarrow + 2NaNO_3$$

$$4Mg(NO_3)_{2(\text{稀})} + 3K_2CO_3 + 2H_2O \xlongequal{} (MgCO_3)_3 \cdot Mg(OH)_2\downarrow + 6KNO_3 + 2HNO_3$$

$$(MgCO_3)_3 \cdot Mg(OH)_2 + K_2CO_3 \xlongequal{\text{放置}} 4MgCO_3\downarrow + 2KOH$$

$$3Mg(NO_3)_2 + 2H_3PO_4 \xlongequal{\triangle} 6HNO_3 + Mg_3(PO_4)_2$$

$$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O_{(固)} + 4CO(NH_2)_{2(固)} \xlongequal{55℃} Mg(NO_3)_2 \cdot 4CO(NH_2)_2 \cdot 2H_2O + 4H_2O$$

【$MgCO_3$】 $MgCO_3 \xlongequal[灼烧]{密封} MgO + CO_2\uparrow$

$$5MgCO_3 + 2H_2O = Mg(OH)_2 \cdot 3MgCO_3 + Mg(HCO_3)_2$$

$$MgCO_3 + CO_{2(过量)} + H_2O = Mg(HCO_3)_2$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3$$

$$MgCO_3 + 2H^+ = Mg^{2+} + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$MgCO_3 + 2HF_{(酸液)} = MgF_2\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$MgCO_3 + H_2S_{(气流)} = MgS\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$3MgCO_3 + 2H_3PO_4 = Mg_3(PO_4)_2 + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$MgCO_3 + 4NH_4Cl + Ba(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + MgCl_2 \cdot (NH_4Cl)_2 + 2NH_4OH$$

$$MgCO_3 + NH_4^+ = Mg^{2+} + HCO_3^- + NH_3\uparrow$$

$$Mg(OH)_2 + 2NH_4^+ = Mg^{2+} + 2NH_4OH$$

总式： $(MgCO_3)_3 \cdot Mg(OH)_2 + 5NH_4^+ = 2NH_4OH + 4Mg^{2+} + 3HCO_3^- + 3NH_3$

【$Mg(HCO_3)_2$】 $Mg(HCO_3)_2 \xlongequal{\triangle} MgCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + Mg(OH)_2\downarrow + 2H_2O$$

（软化暂时硬水的反应）

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCO_3\downarrow$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 + CO_2 = MgCO_3 + 2CaCO_3 + 3H_2O$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ba(OH)_2 + CO_2 = MgCO_3 + 2BaCO_3 + 3H_2O$$

【$MgNH_4PO_4$】 $$2MgNH_4PO_4 \xlongequal{灼烧} Mg_2P_2O_7 + 2NH_3\uparrow + H_2O\uparrow$$

$$MgNH_4PO_4 + H^+ = Mg^{2+} + NH_4^+ + HPO_4^{2-}$$

【Mg^{2+}】 $$Mg^{2+} + HPO_4^{2-} \rightleftharpoons \underset{(白色)}{MgHPO_4\downarrow}$$

$$Mg^{2+} + NH_4PO_4^{2-} = \underset{(白色)}{MgNH_4PO_4\downarrow}$$

$$Mg^{2+} + C_2O_4^{2-} = MgC_2O_4\downarrow$$

$$4Mg^{2+} + 4(NH_4)_2CO_3 + H_2O = Mg_4(CO_3)_3(OH)_2 + 8NH_4^+ + CO_2\uparrow$$

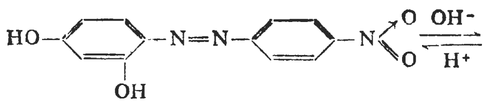
$$Mg^{2+} + \underset{(8\text{-}羟基喹啉)}{2C_9H_6NOH} + 2OH^- \xlongequal{氨性溶液} \underset{(黄色)}{Mg[C_9H_6NO]_2\downarrow} + 2H_2O$$

$$Mg^{2+} + \underset{(磺化煤)}{2NaR} = MgR_2 + 2Na^+$$

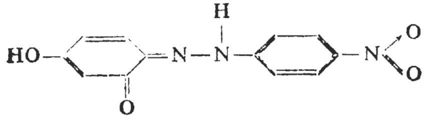
（离子交换法使硬水软化的反应）

Mg^{2+}的检验法：

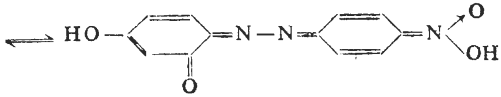
Mg^{2+}与镁试剂（对硝基偶氮间苯二酚）在碱性溶液中生成天蓝色沉淀。镁试剂在酸性溶液中呈黄色，在碱性溶液中显紫色或红色。

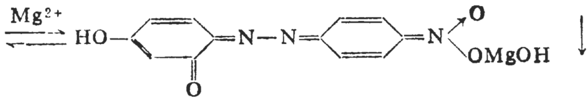


（黄色）



（紫色）





（天蓝色沉淀）

Mg^{2+}与EDTA反应（用铬黑T作指示剂）

$$Mg^{2+} + HIn^{2-} \rightleftharpoons MgIn^{-} + H^{+}$$

（铬黑T，蓝色）（酒红色）

$$MgIn^{-} + H_2Y^{2-} \rightleftharpoons MgY^{2-} + HIn^{2-} + H^{+}$$

（EDTA）　　　　（蓝色）

（FDTA即乙二胺四乙酸）

【其他含镁的化合物】

$$MgS_{(固)} + Na_2CO_{3(固)} + 2O_2 \xlongequal{高温} MgCO_3 + Na_2SO_4$$

$$Mg_3P_2 + 6H_2O = 3Mg(OH)_2 + 2PH_3\uparrow$$

$$MgSiO_{3(固)} + ZnO_{(固)} \xlongequal{\triangle} ZnSiO_3 + MgO$$

$$Mg(C_2O_4) + Na_3AsO_4 + NH_4OH = MgNH_4AsO_4\downarrow + NaOH + Na_2C_2O_4$$

$$2MgNH_4AsO_4 + 3H_2SO_4 = 2H_3AsO_4 + 2MgSO_4 + (NH_4)_2SO_4$$

$$Mg_2OCl_2 + H_2O_{(热气)} = 2MgO + 2HCl$$

16.3 钙 $4s^2$ Ca = 40.08

【Ca】 $Ca + H_2 \xrightarrow[150-300℃]{催化} CaH_2$

$CaH_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2H_2\uparrow$

$CaH_2 + O_2(空气) \xrightarrow{燃烧} CaO + H_2O$

$Ca + X_2 = CaX_2$

($X_2 = F_2$、Cl_2、Br_2)

$2Ca + O_2 \xrightarrow{\triangle} 2CaO$

$Ca + S \xrightarrow{\triangle} CaS$

(与Se、Te也有类似的反应)

$3Ca + N_2 \xrightarrow{加热至410℃} Ca_3N_2$

$Ca_3N_2 + 3H_2O = 3CaO + 2NH_3\uparrow$

$Ca_3N_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$

$Ca + 2C \xrightarrow{白热} CaC_2$

$CaC_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$

$Ca + 6NH_3(液态) = Ca(NH_3)_6$

$Ca + 2H_2O(冷、或热) = Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$

$Ca + 2NaOH(无水) = 2Na + CaO + H_2O$

$Ca + 2HCl = CaCl_2 + H_2\uparrow$

$Ca + H_2SO_4(稀) = CaSO_4 + H_2\uparrow$

$Ca + 2H^+ = Ca^{2+} + H_2\uparrow$

(Ca与非氧化性的酸反应放出氢气)

$4Ca + 10HNO_3(稀) = 4Ca(NO_3)_2 + N_2O\uparrow + 5H_2O$

(Ca与浓硝酸作用时，使钙呈"钝态")

$$Ca + 2KCl \xlongequal{在液NH_3中} CaCl_2 + 2K$$

【CaO】

$$CaO + 3C \xlongequal[3000℃]{高温} CaC_2 + CO\uparrow$$

$$CaC_2 + 2H_2O \xlongequal{} Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow + 31千卡$$

$$CaO + H_2O_2 + 7H_2O \xlongequal{} CaO_2\cdot 8H_2O$$

$$CaO + H_2O \xlongequal{} Ca(OH)_2 + 16千卡$$

$$CaO + CO_2 \xlongequal{甲醇溶液} CaCO_3$$

$$CaO + CO_2 \xlongequal{加压} CaCO_3$$

$$CaO + SiO_2 \xlongequal{高温} CaSiO_3$$

$$CaO_{(固)} + SO_{3(气)} + 2H_2O_{(液)} \xlongequal{} CaSO_4\cdot 2H_2O_{(固)}$$

$$CaO + 2HCl \xlongequal{} CaCl_2 + H_2O + 47千卡$$

$$CaO + H_2SO_4 \xlongequal{} CaSO_4 + H_2O$$

$$CaO + 2HNO_3 \xlongequal{} Ca(NO_3)_2 + H_2O$$

$$CaO + H_3PO_4 \xlongequal{} CaHPO_4 + H_2O$$

$$CaO + 2H_3PO_4 \xlongequal{} Ca(H_2PO_4)_2 + H_2O$$

$$3CaO + 2H_3PO_4 \xlongequal{} Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2O$$

$$CaO + H_2C_2O_4 \xlongequal{} CaC_2O_4 + H_2O$$

$$CaO + 2NH_4Cl \xlongequal{\triangle} CaCl_2 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$CaO + (NH_4)_2SO_4 \xlongequal{强热} CaSO_4\downarrow + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$CaO + MgSO_4 \xlongequal{高温} CaSO_4 + MgO$$

$$CaO + 2NH_4NO_3 \xlongequal{在氨水中} Ca(NO_3)_2 + 2NH_3\uparrow + H_2O$$

$$CaO_{(固)} + Na_2CO_{3(固)} \xlongequal{高温} CaCO_3 + Na_2O$$

$$CaO_{(固)} + MgCO_{3(固)} \xlongequal{高温} CaCO_3 + MgO$$

$$3CaO + Al_2(SiO_3)_3 \xlongequal{高温} 3CaSiO_3 + Al_2O_3$$

【CaO_2】　$2CaO_2 + 2H_2SO_4 = 2CaSO_4 + O_2\uparrow + 2H_2O$

【$Ca(OH)_2$】　$Ca(OH)_2 \xlongequal{580℃} CaO + H_2O$

$$Ca(OH)_2 + O_2 = CaO_2(OH)_2$$

$$CaO_2(OH)_2 + 2HCl = CaO_2Cl_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + \underset{(防止过量)}{H_2O_2} + 6H_2O = CaO_2\cdot 8H_2O$$

$$Ca(OH)_{2(稀)} + H_2O_2 \xlongequal{常温下} CaO_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + SO_3 = CaSO_4 + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O + 17千卡$$

$$CaCO_3 + CO_{2(过量)} + H_2O = \underset{(可溶)}{Ca(HCO_3)_2}$$

$$Ca(OH)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + H_2S + H_2O \xlongequal{蒸发} \underset{(结晶)}{CaS\cdot 3H_2O}\downarrow$$

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 = Ca(H_2PO_4)_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2H^+ = Ca^{2+} + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2H_4SiO_4 = Ca(H_3SiO_4)_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + H_4SiO_4 = CaH_2SiO_4 + 2H_2O$$

$$3Ca(OH)_2 + 2H_4SiO_4 = Ca_3(HSiO_4)_2 + 6H_2O$$

$$2Ca(OH)_2 + H_4SiO_4 = Ca_2SiO_4 + 4H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2NH_4Cl \xlongequal{\triangle} CaCl_2 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

$$\underset{(过量)}{2Ca(OH)_2} + MnCl_2 = CaCl_2 + MnO\cdot CaO + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + Hg_2Cl_2 = Hg_2O + CaCl_2 + H_2O$$

$$Hg_2O = HgO + Hg\downarrow$$

$$Ca(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4 \xlongequal{\triangle} CaSO_4 + 2NH_3\uparrow + 2H_2O$$

【CaF_2】 $CaF_2 + HF + 6H_2O = CaF_2 \cdot HF \cdot 6H_2O$

$$3CaF_{2(固)} + 3SiO_{2(固)} + 6Na_2CO_{3(固)} \xlongequal{共熔} 3CaCO_3 + 6NaF + 3Na_2SiO_3 + 3CO_2\uparrow$$

$$3CaF_{2(固)} + B_2O_{3(固)} + 3H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} 3CaSO_4 + 2BF_3 + 3H_2O$$

$$CaF_{2(固)} + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{\triangle} CaSO_4 + 2HF\uparrow$$

（反应需在铅或铂制容器中进行）

$$CaF_{2(固)} + 2HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + 2HF\uparrow$$

（不能在玻璃容器中进行反应，因为氢氟酸能腐蚀玻璃）

$$CaF_{2(固)} + K_2SO_{4(固)} + 4C \xlongequal{\triangle} CaS + 2KF + 4CO\uparrow$$

【$CaCl_2$】 $CaCl_2 \cdot 6H_2O \xlongequal{\triangle} CaCl_2 + 6H_2O$

$$CaCl_2 + 2Br_{2(溴水)} = Ca(ClBr_2)_2$$

$$CaCl_2 + Ca \xlongequal{高温} \underset{(红紫色)}{2CaCl}$$

$$2CaCl + 2H_2O = CaCl_2 + Ca(OH)_2 + H_2\uparrow$$

$$CaCl_2 + 8NH_3 = \underset{(氨合物)}{CaCl_2 \cdot 8NH_3}$$

$$CaCl_{2(红、热)} + 2H_2O_{(气)} = Ca(OH)_2 + 2HCl$$

$$CaCl_2 + CO_2 + 2HClO = CaCO_3\downarrow + 2Cl_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCl_2 + H_2C_2O_4 = CaC_2O_4\downarrow + 2HCl$$

$$CaC_2O_4 \xlongequal{\triangle} CaO + CO_2\uparrow + CO\uparrow$$

$$CaCl_2 + H_2C_2O_4 + 2NH_4OH = 2NH_4Cl + CaC_2H_4\downarrow + 2H_2O$$

$$3Ca^{2+} + 3H_2C_2O_4 + 5I^- + IO_3^- = \underset{(白色)}{3CaC_2O_4\downarrow} + 3I_2 + 3H_2O$$

$$CaCl_{2(浓)} + SnCl_{2(浓)} = CaSnCl_4$$

$$CaCl_2 + 2NH_4Cl + K_4[Fe(CN)_6] = \underset{(白色)}{Ca(NH_4)_2[Fe(CN)_6]\downarrow} + 4KCl$$

$$CaCl_2 + (NH_4)_2S = CaS + 2NH_4Cl$$

$$CaCl_2 + 2NaOCl = Ca(OCl)_2 + 2NaCl$$

$$2CaCl_2 + 2Na_2SO_3 + H_2O \xlongequal{在沸腾温度} 2CaSO_3 \cdot H_2O + 4NaCl$$

$$10CaCl_2 + 6Na_2HPO_4 + 8NH_4OH = 8NH_4Cl + 12NaCl + [Ca_3(PO_4)_2]_3 \cdot Ca(OH)_2 + 6H_2O$$

$$13CaCl_{2(沸溶液)} + 8Na_2HPO_4 = CaCl_2 \cdot 4Ca_3(PO_4)_2 + 8HCl + 16NaCl$$

$$3CaCl_{2(热液)} + 2Na_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2 + 6NaCl$$

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NaCl$$

$$CaCl_2 + (NH_4)_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NH_4Cl$$

$$CaCl_2 + \underset{(过量)}{K_4[Fe(CN)_6]} = \underset{(白色)}{CaK_2[Fe(CN)_6]\downarrow} + 2KCl$$

【$CaBr_2$】

$$3CaBr_2 + K_2Cr_2O_7 + 7H_2SO_4 = Cr_2(SO_4)_3 + 3CaSO_4 + K_2SO_4 + 3Br_2\uparrow + 7H_2O$$

【CaS】

$$CaS_{(固)} + 2O_2 + 2H_2O \xlongequal{\triangle} CaSO_4 \cdot 2H_2O$$

$$CaS + 2H_2O \rightleftharpoons Ca(OH)_2 + H_2S\uparrow$$

$$2CaS + SO_2 + 38千卡 = 2CaO + 3S$$

$$2CaS + 8MnO_2 + H_2O \xlongequal{煮沸} CaS_2O_3 + Ca(OH)_2\downarrow + 4Mn_2O_3$$

$$CaS + MgCl_2 + H_2O \xlongequal{\triangle} CaCl_2 + MgO + H_2S\uparrow$$

【CaC_2】 $$CaC_2 + 5H_2O(气) \xlongequal{红热} CaCO_3 + 5H_2\uparrow + CO_2\uparrow + 80千卡$$

（红热的CaC_2与水蒸汽的反应）

$$CaC_2 + 2H_2O \xlongequal{常温} Ca(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

$$CaC_2 + N_2 \xlongequal{1200℃} CaCN_2 + C + 70千卡$$

$$CaCN_2 + 3H_2O(气) = CaCO_3 + 2NH_3\uparrow$$

【$Ca(ClO)_2$】 $$Ca(ClO)_2 = CaCl_2 + 2[O]$$

$$Ca(ClO)_2 + 2H_2O = Ca(OH)_2 + 2HClO$$

$$\rightarrow 2HCl + 2[O]$$

$$Ca(ClO)_2 + \underbrace{CO_2 + H_2O}_{（空气中）} = CaCO_3\downarrow + 2HClO$$

$$\downarrow 2HCl + 2[O]$$

$$Ca(ClO)_2 + CO_2 + CaCl_2 = CaCO_3 + CaCl_2 + Cl_2O\uparrow$$

$$Ca(ClO)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2HCl + 2[O]$$

$$Ca(ClO)_2 + 4HCl = CaCl_2 + 2Cl_2\uparrow + 2H_2O$$

$$Ca(ClO)_2 + H_2SO_4(稀) = CaSO_4 + 2HCl + O_2\uparrow$$

$$3Ca(ClO)_2 + 2KCl = 2KClO_3 + 3CaCl_2$$

【$CaSO_4$】 $$2(CaSO_4\cdot 2H_2O) \xlongequal{180℃} \underbrace{[CaSO_4]_2\cdot H_2O}_{（烧石膏）} + 3H_2O$$

$$2(CaSO_4\cdot 2H_2O) \xlongequal{350℃以上} 2CaSO_4 + 4H_2O$$

$$CaSO_4 + 3C + 79千卡 \xlongequal{800℃} CaS + CO_2\uparrow + 2CO\uparrow$$

$$2(CaSO_4\cdot H_2O) + 2H_2O = 2[CaSO_4\cdot 2H_2O]$$

$$CaSO_4 + CO \xlongequal{1100℃} CaSO_3 + CO_2\uparrow$$

$$CaSO_3 \xlongequal{\triangle} CaO + SO_2\uparrow$$

$$CaSO_4 + 2NH_3 + CO_2 + H_2O \xlongequal{} CaCO_3\downarrow + (NH_4)_2SO_4$$

$$CaSO_4 + 2NaOH(浓) \xlongequal{} Ca(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$2CaSO_4 + 14HI(浓) \xlongequal{\triangle} 2CaI_2 + H_2S\uparrow + SO_2\uparrow + 5I_2 + 6H_2O$$

$$CaSO_4 + 10HI \xlongequal[的沸点]{加热接近HI} CaI_2 + 4I_2 + H_2S + 4H_2O$$

$$CaSO_4 + H_2SO_4(浓) \xlongequal{} Ca(HSO_4)_2$$

$$2CaSO_4 + H_2SO_4 \xlongequal{} (CaSO_4)_2 \cdot H_2SO_4$$

$$CaSO_4 + H_2SO_4 \xlongequal{} CaSO_4 \cdot H_2SO_4$$

$$CaSO_4 + 3H_2SO_4 \xlongequal{} CaSO_4 \cdot 3H_2SO_4$$

$$2[CaSO_4 \cdot 2H_2O] + (NH_4)_2SO_4\ (40\%) \xlongequal{煮沸} Ca_2(NH_4)_2(SO_4)_3 + 4H_2O$$

$$5[CaSO_4 \cdot 2H_2O] + (NH_4)_2SO_4\ (30\%) \xlongequal{煮沸} Ca_5(NH_4)_2(SO_4)_6 \cdot H_2O + 9H_2O$$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O(固) + (NH_4)_2SO_4\ (溶液) \xlongequal{50℃} CaSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 2H_2O$$

$$CaSO_4 + 2NaHCO_3 \xlongequal{25℃} CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4 + H_2O + CO_2\uparrow$$

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O + (NH_4)_2CO_3 \xlongequal{} (NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 + 2H_2O$$

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 \xlongequal{} Na_2SO_4 + CaCO_3\downarrow$$

$$CaSO_4(固) + Na_2CO_3(固) + 2C(固) \xlongequal{强热} CaCO_3 + 2CO_2\uparrow + Na_2S$$

$$CaSO_4 + CO_3^{2-} \xlongequal{} CaCO_3\downarrow + SO_4^{2-}$$

$$CaSO_4(溶液) + 2Na_2R(离子交换剂) \rightleftharpoons Na_2SO_4 + CaR$$

（硬水软化法）

$$CaR + 2NaCl \xlongequal{} Na_2R + CaCl_2$$

（离子交换剂中离子再生作用）

【$Ca(NO_3)_2$】　$Ca(NO_3)_2 \xlongequal{稍加热} Ca(NO_2)_2 + O_2\uparrow$

$$Ca(NO_2)_2 \xlongequal{高温} CaO + NO_2\uparrow + NO\uparrow$$

$$Ca(NO_3)_2 + Na_2O_2 + 8H_2O \xlongequal{} 2NaNO_3 + CaO_2\cdot 8H_2O$$

$$2Ca(NO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \xlongequal{100℃} (Ca_2N_2O_7)_2\cdot H_2O + H_2O$$

$$Ca(NO_3)_2 + Ca(OH)_2 + 2H_2O \xlongequal{25℃} Ca_2N_2O_7\cdot 3H_2O$$

$$Ca(NO_3)_2 + Ca(OH)_2 + H_2O \xlongequal{100℃} Ca_2N_2O_7\cdot 2H_2O$$

$$Ca(NO_3)_2 + 2HClO_4 + 4H_2O \xlongequal{共蒸发} Ca(ClO_4)_2\cdot 4H_2O + 2HNO_3$$

（结晶）

$$Ca^{2+} + 2HCO_3^- + 2OH^- \xlongequal{} CaCO_3\downarrow + CO_3^{2-} + 2H_2O$$

【$Ca_3(PO_4)_2$】　$Ca_3(PO_4)_2 + 8C \xlongequal{} Ca_3P_2 + 8CO\uparrow$

$$4Ca_3(PO_4)_2 + 6H_2O \xlongequal{水解} 3[Ca_3(PO_4)_2\cdot Ca(OH)_2] + 2H_3PO_4$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + CO_2 + H_2O(气) \xlongequal{高温} CaCO_3\downarrow + 2CaHPO_4$$

$$3CaO\cdot P_2O_5 + 3SiO_2 \xlongequal{1500℃} 3CaSiO_3 + P_2O_5$$
（即$Ca_3(PO_4)_2$）

$$+)\quad P_2O_5 + 5C \xlongequal{1500℃} 2P\uparrow + 5CO\uparrow$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3SiO_2 + 5C + 325\text{千卡} \xlongequal{1500℃} 3CaSiO_3 + 2P\uparrow + 5CO\uparrow$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 6HCl \xlongequal{} 3CaCl_2 + 2H_3PO_4$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4\text{（浓）} \xlongequal{\triangle} CaH_4(PO_4)_2 + 2CaSO_4$$

$$CaH_4(PO_4)_2 + Ca_3(PO_4)_2 \xlongequal{\triangle} 4CaHPO_4\downarrow$$

$$CaH_4(PO_4)_2 + H_2SO_4 \xlongequal{\triangle} 2H_3PO_4 + CaSO_4$$

总式：$Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2SO_4\text{（浓）} \xlongequal{\triangle} 2H_3PO_4 + 3CaSO_4\downarrow$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4(62-70\%) + 2H_2O \xlongequal{} Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4\cdot 2H_2O$$
（磷矿粉） （过磷酸钙）

$$Ca_3(PO_4)_2 + 4H^+ \xlongequal{} 3Ca^{2+} + 2H_2PO_4^-$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 6HNO_3 \xlongequal{} 2H_3PO_4 + 3Ca(NO_3)_2$$
（土壤消化菌也产生相类似的反应）

$$Ca_3(PO_4)_2 + 6HNO_3 + 2Ca(OH)_2 \xlongequal{} 2[CaHPO_4\cdot 2H_2O]\downarrow + 3Ca(NO_3)_2$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 4H_3PO_4 \xlongequal{} 3Ca(H_2PO_4)_2$$
（重钙）

（土壤有机酸和生理酸性肥料也产生相类似的效果）

$$Ca_3(PO_4)_2 + H_2CO_3 \xlongequal{} 2CaHPO_4 + CaCO_3$$
（土壤有机酸和植物呼吸作用使$Ca_3(PO_4)_2$溶解）

$$Ca_3(PO_4)_2 + 2CH_3COOH \xlongequal{} 2CaHPO_4 + (CH_3COO)_2Ca$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + (NH_4)_2SO_4 + 2H_2SO_4 = 3CaSO_4 + 2NH_4H_2PO_4$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + 3K_2SO_4 + 6HNO_3 = 3CaSO_4 + 6KNO_3 + 2H_3PO_4$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + Na_2CO_3 + SiO_2 \xlongequal{\triangle} (CaO)_2 \cdot Na_2O \cdot P_2O_5 + CaSiO_3 + CO_2\uparrow$$

【$CaHPO_4$】 $CaHPO_4 + 2H_2O \rightleftharpoons Ca(OH)_2 + H_3PO_4$

$$2CaHPO_4 + CO_2 + H_2O(气) \xlongequal{高温} CaCO_3 + CaH_4(PO_4)_2$$

$$2CaHPO_4 + Ca(OH)_2 = Ca_3P_2O_8 + 2H_2O$$

$$CaHPO_4 + 2HCl = CaCl_2 + H_3PO_4$$

$$CaHFO_4 + H_3PO_4 = CaH_4(PO_4)_2$$

$$CaHPO_4 + MgCl_2 + NH_4OH = MgNH_4PO_4 + CaCl_2 + H_2O$$

$$CaHPO_4 + 2NH_4NO_3 \xlongequal{在蒸汽中加热} Ca(NO_3)_2 + (NH_4)_2HPO_4$$

$$(NH_4)_2HPO_4 \xlongequal{\triangle} NH_4H_2PO_4 + NH_3\uparrow$$

$$CaHPO_4 + 2NaHCO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2HPO_4 + CaCO_3 + CO_2 + H_2O$$

$$2CaHPO_4 + Ca(HCO_3)_2 \rightleftharpoons Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 2CO_2\uparrow + 2H_2O$$

（土壤中发生的反应）

【$Ca(H_2PO_4)_2$】 $Ca(H_2PO_4)_2 + NH_3 = NH_4H_2PO_4 + CaHPO_4$

$$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2Ca(OH)_2 = Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 5H_2O$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2MgCl_2 + 4NH_4OH = 2MgNH_4PO_4\downarrow + CaCl_2 + 2NH_4Cl + 4H_2O$$
（白色）

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2AlCl_3 = 2AlPO_4\downarrow + CaCl_2 + 4HCl$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Al_2(SO_4)_3 = 2AlPO_4\downarrow CaSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Fe_2(SO_4)_3 = 2FePO_4\downarrow + CaSO_4 + 2H_2SO_4$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2NaNO_3 = Ca(NaH)_2(PO_4)_2 + N_2O_5\uparrow + H_2O$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2Ca(HCO_3)_2 = Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 4H_2CO_3$$

（石灰性土壤对磷的固定作用）

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaCO_3 = Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2CO_3$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + (NH_4)_2C_2O_4 = + CaC_2O_4\downarrow + 2NH_4H_2PO_4$$
（白色）

【$CaF_2\cdot 3Ca_3(PO_4)_2$】　$$CaF_2\cdot 3Ca_3(PO_4)_2 + 3Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} 10CaO\cdot 2Na_2O\cdot 3P_2O_5 + 2NaF + 3CO_2\uparrow$$

【$Ca_5F(PO_4)_3$】　$$Ca_5F(PO_4)_3 + H_2O(气) = Ca_5(OH)(PO_4)_3 + HF\uparrow$$
（脱氟磷肥）

$$4Ca_5F(PO_4)_3 + 2SiO_2 = 6Ca_3(PO_4)_2 + Ca_2SiO_4 + SiF_4\uparrow$$

$$2Ca_5F(PO_4)_3 + SiO_2 + H_2O \xlongequal{\triangle} 3Ca_3(PO_4)_2 + CaSiO_3 + 2HF\uparrow$$

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 10HBr = 5CaBr_2 + 3H_3PO_4 + HF\uparrow$$

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 5H_2SO_4 = 3H_3PO_4 + 5CaSO_4 + HF\uparrow$$

$$2H_3PO_4 + 3NH_3 = \underbrace{(NH_4)_2HPO_4 + NH_4H_2PO_4}_{\text{(安福粉)}}$$

$$2Ca_5F(PO_4)_3 + 7H_2SO_4 = 3Ca(H_2PO_4)_2 + 7CaSO_4 + 2HF\uparrow$$

$$2Ca_5F(PO_4)_3 + 7H_2SO_4 + 3H_2O = \underbrace{3[Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O]}_{\text{(普钙)}} + 7CaSO_4 + 2HF\uparrow$$

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 10HNO_3 = 3H_3PO_4 + 5Ca(NO_3)_2 + HF$$

$$5Ca(NO_3)_2 + 3H_3PO_4 + 6NH_3 = \underbrace{3CaHPO_4 + 6NH_4NO_3 + 2Ca(NO_3)_2}_{\text{(硝酸磷肥)}}$$

$$Ca_5F(PO_4)_3 + 7H_3PO_4 + 5H_2O = 5[Ca(H_2PO_4)_2\cdot H_2O] + HF\uparrow$$

【$CaCO_3$】 $CaCO_{3(固)} \xlongequal{强热} CaO_{(固)} + CO_2\uparrow$

$$CaCO_3 + 2Cl_2 = CaCl_2 + Cl_2O + CO_2\uparrow$$

$$CaCO_3 + 2Cl_2 + H_2O = CaCl_2 + 2HOCl + CO_2\uparrow$$

$$CaCO_{3(固)} + CO_{2(过量)} + H_2O = Ca(HCO_3)_{2(可溶)}$$

$$2CaCO_{3(粉)} + 2SO_{2(气)} + O_{2(气)} = 2CaSO_4 + 2CO_2\uparrow$$

（去除烟道气中的SO_2用此反应）

$$CaCO_3 + 2NH_3 \xlongequal{高压} CaCN_2 + 3H_2O$$

$$2CaCN_2 + 2H_2O = Ca(HCN_2)_2 + Ca(OH)_2$$

$$CaCO_3 + 2HF_{(酸)} = CaF_2\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2HBr = CaBr_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2H^+ = Ca^{2+} + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2HNO_3 = Ca(NO_3)_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2H_3PO_4 = Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + CO_2\uparrow$$

$$CaCO_{3(\text{溶液})} + 2NaCl_{(\text{溶液})} \rightleftharpoons Na_2CO_3 + CaCl_2$$

$$CaCO_{3(\text{固})} + 2NH_4Cl_{(\text{固})} \xlongequal{\triangle} CaCl_2 + 2NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$CaCO_3 + 2NH_4Cl \rightleftharpoons CaCl_2 + (NH_4)_2CO_3$$

$$CaCO_{3(\text{溶液})} + Na_2SO_{4(\text{溶液})} \rightleftharpoons Na_2CO_3 + CaSO_4$$

$$CaCO_3 + (NH_4)_2SO_4 \rightleftharpoons (NH_4)_2CO_3 + CaSO_4$$

$$CaCO_{3(\text{溶液})} + 2NaNO_{3(\text{溶液})} \rightleftharpoons Na_2CO_3 + Ca(NO_3)_2$$

$$3CaCO_3 + 2NH_4H_2PO_4 \xlongequal{90℃} Ca_3(PO_4)_2 + 2NH_3\uparrow + 3CO_2\uparrow + 3H_2O$$

$$3CaCO_3 + 2Na_2HPO_4 \rightleftharpoons Ca_3(PO_4)_2 + Na_2CO_3 + 2NaHCO_3$$

【$Ca(HCO_3)_2$】 $Ca(HCO_3)_2 \xlongequal{\triangle} CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH = CaCO_3\downarrow + Na_2CO_3 + 2H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + (NH_4)_2C_2O_4 = CaC_2O_4\downarrow + 2NH_4HCO_3$$

$$Ca(HCO_3)_2 + 2NaR_{(\text{离子交换剂})} = CaR_2 + 2NaHCO_3$$

【CaC_2O_4】 $CaC_2O_4 + 2HCl = CaCl_2 + H_2C_2O_4$

$$CaC_2O_4 + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2C_2O_4$$

$$CaC_2O_4 + 4HNO_3 \xlongequal{煮沸} Ca(NO_3)_2 + 2CO_2\uparrow + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$CaC_2O_4 + Na_2CO_{3(浓)} \rightleftharpoons CaCO_3\downarrow + Na_2C_2O_4$$

【其他含钙的化合物】 $$Ca_3P_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2PH_3\uparrow$$

$$Ca_2P_2 + 4H_2O = 2Ca(OH)_2 + P_2H_4\uparrow$$

$$Ca_3N_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

$$2CaCN_2 + 2H_2O = Ca(HCN_2)_2 + Ca(OH)_2$$

$$CaCN_2 + C + Na_2CO_3 = CaCO_3 + 2NaCN$$

$$Ca(CN)_2 + 4H_2O = Ca(COOH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

$$Ca(HS)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2S\uparrow$$

$$CaS_4 + 2HCl = CaCl_2 + H_2S + 3S$$

$$CaSiO_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2SiO_3 + CaCO_3$$

$$CaSiO_3 + 2NH_4Cl \xlongequal{\triangle} CaCl_2 + 2NH_3 + SiO_2 + H_2O$$

$$Ca(ClO_3)_2 + 2KCl_{(过量)} = 2KClO_3 + CaCl_2$$

（将产物冷却至15°至20℃得$KClO_3$结晶）

$$2Ca(H_2PO_2)_2 \xlongequal{灼烧} Ca_2P_2O_7 + 2PH_3\uparrow + H_2O$$

$$CaCrO_4 + Na_2CO_3 \xlongequal{\triangle} CaCO_3\downarrow + Na_2CrO_4$$

$$Ca^{2+} + C_2O_4{}^{2-} \rightleftharpoons CaC_2O_4\downarrow$$

（白色）

$$Ca^{2+}{}_{(浓)} + CrO_4^{2-} + 2H_2O = CaCrO_4\cdot 2H_2O\downarrow$$

（加NH_4OH时沉淀完全）

$$Ca^{2+} + C_4H_4O_6{}^{2-} \rightleftharpoons CaC_4H_4O_6\downarrow$$

（白色）

【含磷炉渣及汤姆斯磷肥】

$$2Fe_3P + 6O_2 = 4FeO + Fe_2O_3 + P_2O_5$$

$$P_2O_5 + 4CaO = Ca_4P_2O_9$$

$$Ca_4P_2O_9 + 2H_2O = Ca_3(PO_4)_2 \cdot H_2O + Ca(OH)_2\downarrow$$

$$Ca_4P_2O_9 + 4CO_2 + 3H_2O = 2CaHPO_4 + 2Ca(HCO_3)_2$$

$$2CaHPO_4 + 2CO_2 + 2H_2O = Ca(HCO_3)_2 + Ca(H_2PO_4)_2$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + 2H[R] = Ca[R]_2 + 2H_3PO_4$$

（H[R]：阳离子交换剂，R——负电荷性基）

$$Fe_3(PO_4)_2 + 3CaO = Ca_3(PO_4)_2 + 3FeO。$$

16.4 锶 $5s^2$ Sr＝87.62

【Sr】 $Sr + H_2 \xlongequal{\triangle} SrH_2$

$$Sr + X_2 = SrX_2$$

（$X_2 = F_2$、Cl_2、Br_2）

$$2Sr + O_2 \xlongequal{\triangle} 2SrO$$

$$Sr + O_2 \xlongequal{加压} SrO_2$$

$$Sr + S \xlongequal{\triangle} SrS$$

（Sr与Se、Te有相类似的反应）

$$3Sr + N_2 = Sr_3N_2$$

$$Sr_3N_2 + 6H_2O = 3Sr(OH)_2 + 2NH_3\uparrow$$

$$Sr + 2C \xlongequal{白热} SrC_2$$

$$SrC_2 + 2H_2O = Sr(OH)_2 + C_2H_2\uparrow$$

$$Sr + 6NH_{3(液态)} = Sr(NH_3)_6$$

$$Sr + 2H^+ = Sr^{2+} + H_2\uparrow$$

（Sr与无氧化性能的酸反应）

$Sr + H_2SO_4(稀) = SrSO_4 + H_2\uparrow$

【SrO】 $SrO + H_2O = Sr(OH)_2$

$SrO + H_2O_2 + 7H_2O = SrO_2 \cdot 8H_2O$

$SrO + 2HCl = SrCl_2 + H_2O$

$SrO + H_2SO_4 = SrSO_4 + H_2O$

【Sr(OH)₂】 $Sr(OH)_2 + 6H_2O + H_2O_2(适量) = SrO_2 \cdot 8H_2O$

$Sr(OH)_2 + H_2O + 6H_2O_2(过量) = SrO_7 \cdot 8H_2O$

$Sr(OH)_2 + CO_2 = SrCO_3 + H_2O$

$Sr(OH)_2 + 2H^+ = Sr^{2+} + 2H_2O$

$Sr(OH)_2 + H_3PO_4 = SrHPO_4 + 2H_2O$

【SrCl₂】 $SrCl_2 + 2Br_2(溴水) = Sr(ClBr_2)_2$

$SrCl_2 + Na_2CO_3 = SrCO_3\downarrow + 2NaCl$

【SrSO₄】 $SrSO_4(浓) + 10HI(浓) = SrI_2 + H_2S + 4I_2 + 4H_2O$

$SrSO_4 + Na_2CO_3(很浓) \rightleftharpoons SrCO_3\downarrow + Na_2SO_4$

【Sr(NO₃)₂】 $Sr(NO_3)_2 + H_2O_2 + 2NH_4OH = SrO_2 \cdot 2H_2O + 2NH_4NO_3$

$Sr(NO_3)_2 + 2HClO_4 + 2H_2O \xlongequal{共蒸发} Sr(ClO_4)_2 \cdot 2H_2O + 2HNO_3$

$2Sr(NO_3)_2 + 2Na_2SO_3 + 2H_2O = 2SrSO_3 \cdot H_2O\downarrow + 4NaNO_3$

$Sr(NO_3)_2 + KNO_3 + 4H_2O \xlongequal{20℃} KNO_3 \cdot Sr(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$

$Sr(NO_3)_2 + KNO_3 \xlongequal{40℃} KNO_3 \cdot Sr(NO_3)_2$

【SrCO₃】 $SrCO_3 + H_2O(过热蒸气) = Sr(OH)_2 + CO_2\uparrow$

$$SrCO_3 + H^+ \rightleftharpoons Sr^{2+} + HCO_3^-$$

$$SrCO_3 + 2HCl = SrCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$SrCO_3 + 2NH_4NO_{3(浓)} = Sr(NO_3)_2 + (NH_4)_2CO_3$$

【Sr^{2+}】

$$Sr^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Sr(OH)_2\downarrow$$

（白色）

（$Sr(OH)_2$溶于酸，难溶于水）

$$Sr^{2+} + SO_4^{2-} \rightleftharpoons SrSO_4\downarrow$$

（白色）

$$Sr^{2+} + HPO_4^{2-} \rightleftharpoons SrHPO_4\downarrow$$

（白色）

$$3Sr^{2+} + 2HPO_4^{2-} + 2OH^- \xlongequal{碱性溶液中} Sr_3(PO_4)_2\downarrow + 2H_2O$$

（$Sr_3(PO_4)_2$溶于酸，不溶于水）

$$Sr^{2+} + CO_3^{2-} \rightleftharpoons SrCO_3\downarrow$$

（白色）

（$SrCO_3$沉淀溶于酸，难溶于水）

$$Sr^{2+} + CrO_4^{2-}{}_{(浓)} \rightleftharpoons SrCrO_4\downarrow$$

（黄色）

$$2Sr^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + H_2O = 2SrCrO_4\downarrow + 2H^+$$

$$Sr^{2+} + C_2O_4^{2-} = SrC_2O_4\downarrow$$

（白色）

（SrC_2O_4沉淀易溶于稀HCl、HNO_3中）

16.5　钡　$6s^2$　Ba＝137.34

【Ba】

$$Ba + H_2 \xlongequal{\triangle} BaH_2$$

$$BaH_2 + 2H_2O = Ba(OH)_2 + 2H_2\uparrow$$

$$Ba + X_2 = BaX_2$$

($X_2=F_2$、Cl_2、Br_2、I_2)

$$2Ba+O_2=\!=\!=2BaO$$

$$Ba+O_2\xrightarrow[\text{室温}]{\text{加压}}BaO_2$$

$$Ba+S=\!=\!=BaS$$

$$3Ba+N_2\xrightarrow{\triangle}Ba_3N_2$$

$$Ba_3N_2+6H_2O=\!=\!=3Ba(OH)_2+2NH_3\uparrow$$

$$Ba+2C\xrightarrow{\text{白热}}BaC_2$$

$$BaC_2+2H_2O=\!=\!=Ba(OH)_2+C_2H_2\uparrow$$

$$Ba+2H^+=\!=\!=Ba^{2+}+H_2\uparrow$$

(Ba与非氧化性酸的反应)

$$3Ba+2FeCl_3+6H_2O=\!=\!=3BaCl_2+2Fe(OH)_3\downarrow+3H_2\uparrow$$

【BaO】

$$2BaO+O_2\xrightarrow[\text{600—800℃}]{\text{加压}}2BaO_2$$

$$3BaO+2Al\xrightarrow[\text{加热1200℃}]{\text{在真空中}}Al_2O_3+3Ba$$

$$BaO+H_2O=\!=\!=Ba(OH)_2$$

$$BaO+9H_2O=\!=\!=Ba(OH)_2\cdot 8H_2O$$

$$Ba(OH)_2\cdot 8H_2O+H_2O_2=\!=\!=BaO_2\cdot 8H_2O+2H_2O$$

$$Ba(OH)_2\cdot 8H_2O\xrightarrow{\triangle}BaO+9H_2O$$

$$BaO+H_2O_2+7H_2O=\!=\!=BaO_2\cdot 8H_2O$$

$$BaO+CaSO_4\xrightarrow{\triangle}BaSO_4+CaO$$

$$3BaO+Ca_3(PO_4)_2\xrightarrow{\triangle}Ba_3(PO_4)_2+3CaO$$

$$BaO+CaCO_3\xrightarrow{\triangle}BaCO_3+CaO$$

$$BaO+CaSiO_3\xrightarrow{\triangle}BaSiO_3+CaO$$

【BaO_2】 $2BaO_2 \xlongequal{在800℃以上} 2BaO + O_2\uparrow$

$BaO_2 + H_2O_2(过量) \xlongequal{加NH_4OH} BaO_2\cdot H_2O_2$

$BaO_2 + H_2O_2 \xlongequal{} Ba(OH)_2 + O_2\uparrow$
(过量)

$BaO_2 + CO_2 + H_2O \xlongequal{} BaCO_3 + H_2O_2$

$BaO_2 + 4HCl(气) \xlongequal{} BaCl_2 + Cl_2 + 2H_2O$

$BaO_2 + H_2SO_3(冷、稀) \xlongequal{} BaSO_3 + H_2O_2$

$BaO_2 + H_2SO_4 \xlongequal{} BaSO_4 + H_2O_2$

$3BaO_2 + 2H_3PO_4 \xlongequal{冷} Ba_3(PO_4)_2 + 3H_2O_2$

$6BaO_2 + 4H_3PO_4 \xlongequal{} 2Ba_3(PO_4)_2 + 3O_2\uparrow + 6H_2O$

$2BaO_2 + 4NH_4Cl \xlongequal{} 2BaCl_2 + 4NH_3\uparrow + 2H_2O + O_2$

$BaO_2 + HgCl_2 \xlongequal{} BaCl_2 + Hg + O_2$

【$Ba(OH)_2$】 $Ba(OH)_2 + H_2O_2 \rightleftharpoons BaO_2 + 2H_2O$

$Ba(OH)_2 + H_2O_2(适量) + 6H_2O \xlongequal{} BaO_2\cdot 8H_2O$

$Ba(OH)_2 + CO_2(空中) \xlongequal{} BaCO_3\downarrow + H_2O$

$Ba(OH)_2 + 2H^+ \xlongequal{} Ba^{2+} + 2H_2O$

$Ba(OH)_2 + H_3PO_4 \xlongequal{} BaHPO_4 + 2H_2O$

$Ba(OH)_2 + BaSO_3 + I_2 \xlongequal{} BaSO_4 + BaI_2 + H_2O$

$Ba(OH)_2 + 2AgNO_3 \xlongequal{加热近沸} Ag_2O + Ba(NO_3)_2 + H_2O$

【BaF_2】 $BaF_2 + Na_2CO_3(浓) \xlongequal{煮沸} BaCO_3\downarrow + 2NaF$

【$BaCl_2$】 $BaCl_2 + 2Br_2(溴水) \xlongequal{} Ba(ClBr_2)_2$

$2BaCl_2 + 2CO_2 + O_2 \xlongequal{熔化} 2BaCO_3 + 2Cl_2\uparrow$

$BaCl_2 + 2HClO_4 \xlongequal{} Ba(ClO_4)_2 + 2HCl$

$$BaCl_2 + 2KBrO_3\text{(浓液)} = Ba(BrO_3)_2\downarrow + 2KCl$$
（白色）

$$BaCl_2 + H_2SiF_6 = 2HCl + BaSiF_6\downarrow$$
（白色结晶）

$$BaCl_2 + K_2SO_3\text{(饱和)} \xlongequal{\text{中性}} BaSO_3\downarrow + 2KCl$$

$$BaCl_2 + 2KHSO_3 = BaSO_3\downarrow + H_2SO_3 + 2KCl$$

$$BaCl_2 + Na_2SO_3 = BaSO_3\downarrow + 2NaCl$$
（白色）

$$BaCl_2 + CaSO_4\text{(饱和溶液)} = BaSO_4\downarrow + CaCl_2$$
（白色）

（$SrSO_4$也有类似的反应）

$$BaCl_{2\text{(浓)}} + 2NaNO_2 \xlongequal{100℃} Ba(NO_2)_2 + 2NaCl$$

$$BaCl_2 + 2AgNO_3 = 2AgCl\downarrow + Ba(NO_3)_2$$

$$3BaCl_2 + 2Na_2HPO_4 + 2NaOH = Ba_3(PO_4)_2\downarrow + 6NaCl + 2H_2O$$

$$BaCl_2 + Na_2CO_3 = BaCO_3\downarrow + 2NaCl$$
（$BaCl_2 \cdot 2H_2O$也有类似的反应）

$$BaCl_2 + C_2H_4(COONa)_2 = C_2H_4(COO)_2Ba\downarrow + 2NaCl$$

【$BaBr_2$】 $BaBr_2 + 2Br_{2\text{(溴水)}} = Ba(Br_3)_2$

$$2BaBr_2 + 2CO_2 + O_2 = 2BaCO_3 + 2Br_2$$

【BaS】 $2BaS + 2H_2O = Ba(HS)_2 + Ba(OH)_2$

$$BaS + CO_2 + H_2O \xlongequal{\triangle} BaCO_3\downarrow + H_2S\uparrow$$

$$BaS + 2HCl = BaCl_2 + H_2S\uparrow$$

$$BaS + CaCl_2 \xlongequal{\text{焙烧}} BaCl_2 + CaS$$

$$BaS + Na_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + Na_2S$$

$$BaS + Na_2CO_3 + 2O_2 \xrightarrow{\text{焙烧}} BaCO_3 + Na_2SO_4$$

$BaS + CS_2 \xlongequal{} BaCS_3$

【$Ba(HS)_2$】　$Ba(HS)_2 + 2I_2 \xlongequal{} BaI_2 + 2HI + S_2$

$Ba(HS)_2 + 2CO_2 + 2H_2O \xlongequal{} Ba(HCO_3)_2 + 2H_2S$

$Ba(HS)_2 + 2HCl \xlongequal{} BaCl_2 + 2H_2S\uparrow$

【$BaSO_3$】　$BaSO_3 + 2HCl \xlongequal{} BaCl_2 + SO_2\uparrow + H_2O$

$BaSO_3 + Na_2CO_3 \xlongequal{} BaCO_3 + Na_2SO_3$

【$BaSO_4$】　$BaSO_4 \cdot 4H_2O \xlongequal{1000-1100℃} BaO + SO_3\uparrow + 4H_2O\uparrow$

$BaSO_4 + 2C \xlongequal{900-1000℃} BaS + 2CO_2\uparrow$

$BaSO_4 + 4C \xlongequal{900-1000℃} BaS + 4CO\uparrow$

$BaSO_4 + 4C + CaCl_2 \xlongequal{高温} BaCl_2 + CaS + 4CO\uparrow$

$BaSO_4 + 4CO \xlongequal{\triangle} BaS + 4CO_2\uparrow$

$BaSO_4 + H_2SO_{4(浓)} \xlongequal{} Ba(HSO_4)_2$

$BaSO_4 + Na_2CO_{3(浓液)} \xlongequal{共煮} BaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$

（此反应很不完全）

【$Ba(NO_3)_2$】　$Ba(NO_3)_2 \xlongequal{稍加热} Ba(NO_2)_2 + O_2\uparrow$

$Ba(NO_2)_2 \xlongequal{高温} BaO + NO_2 + NO\uparrow$

【$BaCO_3$】　$BaCO_3 \xlongequal{强热} BaO + CO_2\uparrow$

$BaCO_3 + CO_2（过量）+ H_2O \xlongequal{} Ba(HCO_3)_2$

$BaCO_{3(固)} + 2NH_3 \xlongequal{\triangle} BaCN_2 + 3H_2O$

$BaCO_3 + 2HF \xlongequal{} BaF_2 + CO_2\uparrow + H_2O$

$BaCO_3 + 2H^+ \xlongequal{} Ba^{2+} + CO_2\uparrow + H_2O$

$BaCO_3 + 2HNO_3 \xlongequal{} Ba(NO_3)_2 + CO_2\uparrow + H_2O$

$BaCO_3 + H_3PO_4 \xlongequal{水浴上加热} BaHPO_4\downarrow + CO_2\uparrow$

$+ H_2O$

$$2BaHPO_4 \xrightarrow{\triangle} BaP_2O_6 + Ba(OH)_2$$

$$BaCO_3 + 2CH_3COOH \rightleftharpoons [CH_3COO]_2Ba + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$BaCO_{3(粉末)} + 2NH_4Cl_{(溶液)} \xrightarrow{煮沸} BaCl_2 + (NH_4)_2CO_3$$

（使$BaCO_3$固体溶解）

$$(NH_4)_2CO_3 \xrightarrow{\triangle} 2NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$BaCO_3 + Na_2SO_{4(少量)} = BaSO_4\downarrow + Na_2CO_3$$

$$2BaCO_3 + ZnSO_4 + 4HCN = BaSO_4\downarrow + Ba(CN)_2\cdot Zn(CN)_2\cdot 2H_2O + 2CO_2\uparrow$$

【$Ba(HCO_3)_2$】 $Ba(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = BaCO_3\downarrow + CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

【$BaSiO_3$】 $BaSiO_3 + ZnO \xrightarrow{\triangle} ZnSiO_3 + BaO$

$$BaSiO_3 + 2HCl = BaCl_2 + H_2SiO_3$$

【$BaCrO_4$】 $2BaCrO_4 + 2H^+ = 2Ba^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + H_2O$

$$2BaCrO_4 + 6KI + 16HCl = 2BaCl_2 + 2CrCl_3 + 6KCl + 3I_2 + 8H_2O$$

$$BaCrO_4 + Na_2CO_3 = BaCO_3 + Na_2CrO_4$$

【Ba^{2+}】 $Ba^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Ba(OH)_2$

$$Ba^{2+} + 2Cl^-_{(浓HCl)} \rightleftharpoons BaCl_2$$

（结晶）

$$Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$$

（$BaSO_4$沉淀不溶于稀酸，在浓的HCl、HNO_3中微溶）

$$Ba^{2+} + 2NO_3^-{}_{(浓HNO_3)} \rightleftharpoons Ba(NO_3)_2$$

（结晶）

$$Ba^{2+} + 2PO_3^- = Ba(PO_3)_2\downarrow$$

$$Ba^{2+} + HPO_4^{2-} \rightleftharpoons BaHPO_4\downarrow$$
（白色）

$$3Ba^{2+} + 2HPO_4^- + 2OH^- = Ba_3(PO_4)_2\downarrow + 2H_2O$$

$$Ba^{2+} + CO_3^{2-} = BaCO_3\downarrow$$

$$Ba^{2+} + C_2O_4^{2-} \rightleftharpoons BaC_2O_4\downarrow$$
（白色）

$$BaC_2O_4 + 2H^+ = Ba^{2+} + H_2C_2O_4$$

$$Ba^{2+} + C_4H_4O_6^{2-} \rightleftharpoons BaC_4H_4O_6$$

$$Ba^{2+} + CrO_4^{2-} \xrightleftharpoons{\text{中性}} BaCrO_4\downarrow$$
（黄色）

$$BaCrO_4 + H^+ \rightleftharpoons Ba^{2+} + HCrO_4^-$$

$$2HCrO_4^- \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + H_2O$$

$$2Ba^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2BaCrO_4\downarrow + 2H^+$$

【其他含钡的化合物】 $$5Ba(IO_3)_2 \xlongequal{\triangle} Ba_5(IO_6)_2 + 4I_2 + 9O_2\uparrow$$

$$3Ba(NH_2)_2 \xlongequal{\triangle} Ba_3N_2 + 4NH_3\uparrow$$

$$Ba(CN)_2 + H_2O \rightleftharpoons Ba(OH)CN + HCN\uparrow$$
（水解反应）

$$CN^- + H_2O \rightleftharpoons HCN\uparrow + OH^-$$

$$2BaS_2O_8 + 2H_2O \xlongequal{\text{煮沸}} 2BaSO_4\downarrow + 2H_2SO_4 + O_2\uparrow$$

$$Ba(ClO_3)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2HClO_3$$
（$Ba(BrO_3)_2$也有类似的反应）

$$Ba_5(IO_6)_2 + 5H_2SO_4(\text{浓}) = 5BaSO_4\downarrow + 2H_5IO_6$$

$$Ba(H_2PO_2)_2 + H_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2H_3PO_2$$

$$Ba(MnO_4)_2 + H_2SO_4(稀) = BaSO_4\downarrow + 2HMnO_4$$

(实验室制$HMnO_4$)

常见阴离子与常见试剂的反应

离子＼试剂	$BaCl_2$	钡盐沉淀加酸	$AgNO_3$	酸的作用	氧化剂	还原剂
SO_4^{2-}	$BaSO_4\downarrow$ （白）	不溶	$Ag_2SO_4\downarrow$（白）， （浓溶液中）	—	—	—
SO_3^{2-}	$BaSO_3\downarrow$ （白）	溶解 $SO_2\uparrow$	$Ag_2SO_3\downarrow$（白） 溶于强酸及醋酸 $NH_3\cdot H_2O$	$SO_2\uparrow$	酸性$KMnO_4$溶液褪色 I_2淀粉液褪色	被Zn、Al、Mg、还原成$H_2S\uparrow$
$S_2O_3^{2-}$	$BaS_2O_3\downarrow$ （白色） （浓溶液中）	溶解 $SO_2\uparrow + S\downarrow$	$Ag_2S_2O_3\downarrow$（肉黄）$\longrightarrow Ag_2S\downarrow$（棕黑） $Ag_2S_2O_3$溶于HNO_3 $NH_3\cdot H_2O$	$SO_2\uparrow + S\downarrow$	同上	同上
CO_3^{2-}	$BaCO_3\downarrow$ （白色）	溶解 $CO_2\uparrow$	$Ag_2CO_3\downarrow$（白色） 溶于HNO_3、CH_3COOH $NH_3\cdot H_2O$	$CO_2\uparrow$	—	—
BO_2^-	$Ba(BO_2)_2\downarrow$ （白色） （浓溶液中）	溶解	$AgBO_2\downarrow$（白色），溶于HNO_3、CH_3COOH及$NH_3\cdot H_2O$	—	—	—

续表一

试剂 离子	$BaCl_2$	钡盐沉淀加酸	$AgNO_3$	酸的作用	氧化剂	还原剂
PO_4^{3-}	$Ba_3(PO_4)_2\downarrow$（白色）	溶解	$Ag_3PO_4\downarrow$（黄色），溶于强酸及CH_3COOH，$NH_3\cdot H_2O$	—	—	—
AsO_4^{3-}	$Ba_3(AsO_4)_2\downarrow$（白色）	溶解	$Ag_3AsO_4\downarrow$（棕色），溶于强酸及CH_3COOH，$NH_3\cdot H_2O$	—	—	KI溶液中析出I_2（酸性溶液中）
AsO_3^{3-}	$Ba_3(AsO_3)_2\downarrow$（白色）	溶解	$Ag_3AsO_3\downarrow$（黄色），溶于HNO_3、CH_3COOH及NH_3、H_2O	—	酸性$KMnO_4$溶液褪色，在$NaHCO_3$存在下，I_2淀粉溶液褪色。	—
$C_2O_4^{2-}$	$BaC_2O_4\downarrow$（白色）	溶解	$Ag_2C_2O_4$溶于HNO_3、$NH_3\cdot H_2O$	—	酸性$KMnO_4$溶液褪色（加热）	—
SiO_3^{2-}	$BaSiO_3\downarrow$（白色）	$H_2SiO_3\downarrow$	$Ag_2SiO_3\downarrow$（黄色），溶于酸析出$H_2SiO_3\downarrow$	$H_2SiO_3\downarrow$（白色）凝胶状	—	—

续表二

试剂 / 离子	$BaCl_2$	钡盐沉淀加酸	$AgNO_3$	酸的作用	氧化剂	还原剂
F^-	$BaF_2\downarrow$（白色）	溶解浓酸中析出$HF\uparrow$	—	$HF\uparrow$（浓H_2SO_4）	—	—
CN^-	—	—	$AgCN\downarrow$（白色）	$HCN\uparrow$（稀酸） NH_4^++CO（浓H_2SO_4）	不与$KMnO_4$作用，I_2淀粉液褪色。	—
SCN^-	—	—	$AgSCN\downarrow$（白色），溶于$NH_3\cdot H_2O$	$NH_4^++COS\uparrow$（浓H_2SO_4）	酸性$KMnO_4$溶液褪色	—
Cl^-	—	—	$AgCl\downarrow$（白色），溶于$NH_3\cdot H_2O$	HCl（浓H_2SO_4） HCl（稀H_2SO_4）	同上	—
Br^-	—	—	$AgBr\downarrow$（淡黄）	HBr（稀H_2SO_4） $HBr+Br_2$（浓H_2SO_4）$_2$	同上	—
I^-	—	—	$AgI\downarrow$（黄色），不溶于$NH_3\cdot H_2O$	HI（稀H_2SO_4） I_2（浓H_2SO_4）	同上	—

续表三

试剂 / 离子	$BaCl_2$	钡盐沉淀加酸	$AgNO_3$	酸的作用	氧化剂	还原剂
S^{2-}	—	—	$Ag_2S\downarrow$（黑色），溶于热 HNO_3	$H_2S\uparrow$（稀H_2SO_4） H_2S，SO_2（浓H_2SO_4）	同上 I_2淀粉液褪色	—
NO_3^-	—	—	—	$NO_2\uparrow + O_2\uparrow$（浓$H_2SO_4$）	—	NO_2、NO、N_2、NH_3
NO_2^-	—	—	$AgNO_2\downarrow$（白色）（浓NO_2^-）	$NO_2\uparrow + NO\uparrow$（浓$H_2SO_4$）	酸性$KMnO_4$溶液褪色	同上 KI析出I_2（酸性溶液中）
ClO_3^-	—	—	—	ClO_2（浓H_2SO_4）	—	浓时，析出I_2（KI）
ClO^-	—	—	—	$HCl + O_2\uparrow$（浓H_2SO_4） Cl_2（HCl）		KI 酸性溶液中I_2放出。
CH_3COO^-	—	—	$CH_3COOAg\downarrow$（浓时）	CH_3COOH（浓H_2SO_4）	—	—

常见阳离子与常

	HCl	H_2SO_4	NH_3（适量）	NH_3（过量）
Ag^+	$AgCl\downarrow$（白）	$Ag_2SO_4\downarrow$（白）	$Ag_2O\downarrow$（褐）	$[Ag(NH_3)_2]^+$
Hg_2^{2+}	$Hg_2Cl_2\downarrow$（白）	$Hg_2SO_4\downarrow$（白）	$NH_2HgNO_3\downarrow$（白）$+Hg\downarrow$（黑）	同左
Pb^{2+}	$PbCl_2\downarrow$（白）	$PbSO_4\downarrow$（白）	$Pb(OH)_2\downarrow$（白）	同左
Cu^{2+}			$Cu(OH)NO_3\downarrow$（蓝绿）	$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$（蓝）
Cd^{2+}			$Cd(OH)_2\downarrow$（白色）	$[Cd(NH_3)_4]^{2+}$（无色）
Bi^{3+}			$Bi(OH)_3NO_3\downarrow$（白）	同左
Hg^{2+}			$HgNH_2NO_3\downarrow$（白）	同左
Sn^{2+}			$Sn(OH)_2\downarrow$（白）	同左
Sn^{4+}			$Sn(OH)_4\downarrow$（白）	同左
Sb^{3+}			$HSbO_2\downarrow$（白）	同左
Sb^{5+}			$HSbO_3\downarrow$（白）	同左
As^{3+}				
As^{5+}				
Fe^{2+}			$Fe(OH)_2\downarrow$（灰绿）	同左

用试剂的反应表

NaOH（适 量）	NaOH（过 量）	$(NH_4)_2CO_3$	H_2S（0.3MHCl）	$(NH_4)_2S$
$Ag_2O\downarrow$（褐）	同左	$Ag_2CO_3\downarrow$（白）	$Ag_2S\downarrow$（黑）	同左
$Hg_2O\downarrow$（黑）	同左	$HgO\downarrow + Hg\downarrow$（灰）（黑）	$HgS\downarrow + Hg\downarrow$（黑）	同左
同左	PbO_2^{2-}	$Pb_2(OH)_2CO_3\downarrow$（白）	$PbS\downarrow$（黑）	同左
$Cu(OH)_2\downarrow$（淡蓝色）	同左 部分CuO_2^{2-}	$Cu_2(OH)_2CO_3\downarrow$（蓝绿）	$CuS\downarrow$（黑）	同左
$Cd(OH)_2\downarrow$（白）	同左	$Cd_2(OH)_2CO_3\downarrow$（白）	$CdS\downarrow$（黄）	同左
$Bi(OH)_3\downarrow$（白）	同左	$Bi(OH)CO_3\downarrow$（白）	$Bi_2S_3\downarrow$（暗褐）	同左
$HgO\downarrow$（黄）	同左	$HgCO_3\cdot 3HgO\downarrow$（红棕）	$HgS\downarrow$（黑）	同左
同左	SnO_2^{2-}	$Sn(OH)_2\downarrow$（白色）	$SnS\downarrow$（棕）	同左
同左	SnO_4^{4-}	$Sn(OH)_4\downarrow$（白）	$SnS_2\downarrow$（黄）	同左
同左	SbO_2^-	$HSbO_2\downarrow$（白）	$Sb_2S_3\downarrow$（橙红）	同左
同左	SbO_3^-	$HSbO_3\downarrow$（白）	$Sb_2S_5\downarrow$（橙红）	同左
			$As_2S_3\downarrow$ 淡黄	同左
			$As_2S_5\downarrow$ 淡黄	同左
同左	同左	$Fe_2(OH)_2CO_3\downarrow$（棕绿）		$FeS\downarrow$（黑）

续表

	HCl	H_2SO_4	NH_3（适量）	NH_3（过量）
Fe^{3+}			$Fe(OH)_3\downarrow$（红棕）	同左
Co^{2+}			$Co(OH)NO_3\downarrow$（蓝）	$[Co(NH_3)_6]^{2+}$（红）
Ni^{2+}			$Ni(OH)NO_3\downarrow$（浅绿）	$[Ni(NH_3)_6]^{2+}$（蓝）
Mn^{2+}			$Mn(OH)_2\downarrow$（白）	同左
Al^{3+}			$Al(OH)_3\downarrow$（白）	同左
Cr^{3+}			$Cr(OH)_3\downarrow$（灰绿）	同左
Zn^{2+}			$Zn(OH)_2\downarrow$（白）	$[Zn(NH_3)_6]^{2+}$（无色）
Ca^{2+}		$CaSO_4\downarrow$（白）		
Sr^{2+}		$SrSO_4\downarrow$（白）		
Ba^{2+}		$BaSO_4\downarrow$（白）		
Mg^{2+}			部分$Mg(OH)_2\downarrow$（白）	同左
K^+				
Na^+				
NH_4^+				

NaOH (适　量)	NaOH (过　量)	$(NH_4)_2CO_3$	H_2S (0.3MHCl)	$(NH_4)_2S$
同左	同左	$Fe(OH)CO_3$ ↓ (红棕)		Fe_2S_3 ↓ (黑)
$Co(OH)NO_3$ ↓ (蓝)	同左	$Co_2(OH)_2CO_3$ ↓ (红)		CoS ↓ (黑)
$Ni(OH)_2$ ↓ (绿色)	同左	$Ni_2(OH)_2CO_3$ ↓ (浅绿)		NiS ↓ (黑)
同左	同左	$MnCO_3$ ↓ (白)		MnS ↓ (肉色)
同左	AlO_2^-	$Al(OH)_3$ ↓ (白)		$Al(OH)_3$ ↓ (白)
同左	CrO_2^-	$Cr(OH)_3$ ↓ (灰绿)		$Cr(OH)_3$ ↓ (灰绿)
$Zn(OH)_2$ ↓ (白)	ZnO_2^-	$Zn_2(OH)_2CO_3$ ↓ (白)		ZnS ↓ (白)
		$CaCO_3$ ↓ (白)		
		$SrCO_3$ ↓ (白)		
		$BaCO_3$ ↓ (白)		
$Mg(OH)_2$ ↓ (白)	同左			

各种盐类的溶

	Ag^{+}①	Hg_2^{2+}①	Pb^{2+}①	Hg^{2+}	Bi^{3+}②	Cu^{2+}	Cd^{2+}	As^{3+}	Sb^{3+}②	Sn^{2+}	Sn^{4+}	Al^{3+}	Cr^{3+}
碳酸盐 CO_3^{2-}	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	HCl	HCl	—	—	—	—	—	—
草酸盐 $C_2O_4^{2-}$ ③	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	HCl	HCl	—	HCl	HCl	水	HCl	HCl
氟化物 F^-	水	水	水略溶 HNO_3	水	HCl	水略溶 HCl	水略溶 HCl	—	水略溶 HCl	水	水	水	水
亚硫酸盐 SO_3^{2-}	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	—	HCl	HCl	—	—	HCl	—	HCl	—
亚砷酸盐 AsO_3^{3-}	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	HCl	HCl	—	—	HCl	—	—	—
砷酸盐 AsO_4^{3-}	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	HCl	HCl	—	—	HCl	HCl	HCl	HCl
磷酸盐 PO_4^{3-}	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	HCl	HCl	—	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl
硼酸盐 BO_2^-	HNO_3	—	HNO_3	—	HCl	HCl	HCl	—	—	HCl	—	HCl	HCl
硅酸盐 SiO_3^{2-} ④	HNO_3	—	HNO_3	—	HCl	HCl	HCl	—	—	—	—	HCl	HCl
酒石酸盐 $C_4H_4O_6^{2-}$ ③	HNO_3	水略溶 HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	水	HCl	—	HCl	HCl	水	水	水
硫酸盐 SO_4^{2-}	水略溶	水略溶	不溶	水略溶	水略溶	水	水	—	HCl	水	—	水	水
铬酸盐 CrO_4^{2-}	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HCl	水	HCl	—	—	HCl	—	—	HCl
硫化物 S^{2-}	HNO_3	王水	HNO_3	王水	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HNO_3	浓HCl	浓HCl	浓HCl	水解 HCl	水解 HCl
氰化物 CN^-	不溶	—	HNO_3	水	—	HCl	HCl	—	—	—	—	—	HCl
亚铁氰化物 $[Fe(CN)_6]^{4-}$	不溶	—	不溶	—	—	不溶	不溶	—	—	—	不溶	—	—
铁氰化物 $[Fe(CN)_6]^{3-}$	不溶	—	不溶	不溶	—	不溶	不溶	—	—	不溶	—	—	—
硫代硫酸盐 $S_2O_3^{2-}$	HNO_3	—	HNO_3	—	—	—	水	—	—	水	水	水	—
硫代氰酸盐 SCN^-	不溶	HNO_3	HNO_3	水	—	HNO_3	HCl	—	—	—	水	水	水
碘化物 I^-	不溶	HNO_3	水略溶 HNO_3	HCl	HCl	水略溶	水	水	水解 HCl	水	水解 HCl	水	水
溴化物 Br^-	不溶	HNO_3	不溶	水	水解 HCl	水	水	水	水解 HCl	水	水	水	水
氯化物 Cl^-	不溶	HNO_3	沸水	水	水解 HCl	水	水	水	水解 HCl	水	水	水	水
醋酸盐 CH_3COO^-	水略溶	水	水	水	水	水	水	—	—	水	水	水	水
亚硝酸盐 NO_2^-	热水	水	水	水	—	水	水	—	—	—	—	—	—
硝酸盐 NO_3^-	水	水略溶 HNO_3	水	水	水略溶 HNO_3	水	水	—	—	—	—	水	水
氧化物 (O^{2-})	HNO_3	HNO_3	HNO_3	HCl	HNO_3	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl略溶	HCl	HCl
氢氧化物 OH^-	HNO_3	—	HNO_3	—	HCl	HCl	HCl	—	HCl	HCl	不溶	HCl	HCl

注：①加入盐酸时，能使银、亚汞及铅之多数盐变成不溶之氯化物；②多种铋和锑之盐类能水解而析出沉淀；③多种草酸盐及酒石酸盐能和过量之
胶状硅酸。

解　　情　　况　　表

Fe^{3+}	Fe^{2+}	Mn^{2+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Zn^{2+}	Ba^{2+}	Sr^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	NH_4^{+}
—	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水略溶 HCl	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水	水
水略溶 HCl	水略溶 HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水略溶 HCl	HCl	不溶	HCl	水	水	水
—	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水略溶 HCl	水微溶 HCl	HCl	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水
水	HCl	水略溶 HCl	HCl	水	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	不溶	不溶	水微溶	水	水	水	水
水	—	水略溶 HCl	HCl	HCl	水	HCl	水略溶	水	水	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HNO_3	HNO_3	HCl	水	水	水	水	水	水	水
—	不溶	HCl	HNO_3	HNO_3	HCl	水略溶 HCl	水	水	水	水	水	水
不溶	不溶	HCl	不溶	不溶	不溶	水	水	水	水	水	水	水
水	不溶	不溶	不溶	不溶	HCl	水	水	水	水	水	水	水
—	水	水	水	水	水	HCl	水	水	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
水	—	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水	水
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水略溶 HCl	HCl	水	水	—
HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	HCl	水	水略溶 HCl	水略溶 HCl	HCl	水	水	水

草酸离子或酒石酸离子生成络离子而溶解；④此处之溶解度系指新沉淀之硅酸盐，并非矿产者而言，加酸使其分解后，即析出